

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

RAISSA DE ARAÚJO NOGUEIRA

CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS E DAS FEIÇÕES DE FUNDO DO
MAR DO ARARAPIRA, LITORAL SUL DO BRASIL.

CURITIBA

2013

RAISSA DE ARAÚJO NOGUEIRA

CARACTERIZAÇÃO DOS SEDIMENTOS E DAS FEIÇÕES DE FUNDO DO
MAR DO ARARAPIRA, LITORAL SUL DO BRASIL.

Dissertação apresentada como requisito
parcial à obtenção do grau de mestre em
Geologia no curso de Pós-Graduação
em Geologia, Setor de Ciências da
Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Dr. Rodolfo José Angulo

CURITIBA

2013

TERMO DE APROVAÇÃO

RAISSA DE ARAÚJO NOGUEIRA

“Caracterização dos sedimentos e das feições de fundo do Mar do Ararapira, litoral sul do Brasil”.

Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Geologia, área de concentração em Geologia Ambiental, da Universidade Federal do Paraná. Comissão formada por:



Prof. Dr. Leonardo José Cordeiro Santos (UFPR)



Prof. Dr. Helenice Vital (UFRN)



Prof. Dr. Rodolfo José Angulo - UFPR
Presidente

Curitiba, 11 de março de 2013

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me manter de pé e com a cabeça erguida para conseguir trilhar esse caminho e seguir em frente. Aos meus pais que me ajudaram cada um a sua maneira, pois foi devido à educação que recebi deles que me tornei a pessoa que sou.

Ao Luiz Sielski, e a Maria Carolina Stellfeld por todo apoio, ajuda, paciência, amizade e carinho. Sei que tive muitas crises, mas vocês me apoiaram sempre e me ajudaram com o Arcgis, terror da minha vida.

Ao Rodolfo Angulo, e a Maria Cristina de Souza que me ensinaram, e me apoiaram para conseguir que esse projeto se realizasse.

A todo laboratório de estudos costeiros (LECOST) que sempre estavam presentes quando eu precisei de qualquer coisa.

Ao laboratório de sedimentologia (LABSED) pelo espaço físico, e ao Daniel Paredes pelo auxílio no processamento das amostras sedimentológicas. E claro, as meninas que estagiaram lá e me deram uma força.

A toda a minha família que sempre está ao meu lado.

Agradeço profundamente ao meu irmão por ser a minha família, o meu conforto até quando a gente briga.

Não podia esquecer os amigos que eu amo tanto e que são a família que Deus me permitiu escolher, eu jamais teria conseguido sem vocês. Sozinha não ia dar certo.

“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é senão uma gota de água no mar. Mas o mar seria menor se lhe faltasse uma gota.”

Madre Teresa de Calcutá

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| RESUMO..... | I |
| ABSTRACT | II |
| LISTA DE FIGURAS..... | III |
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 2. OBJETIVOS | 12 |
| 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 12 |
| 3. ÁREA DE ESTUDO | 12 |
| 3.1- Geologia | 16 |
| 4. REFERENCIAL TEÓRICO | 18 |
| 5. MATERIAIS E MÉTODOS | 28 |
| 5.2- Trabalhos de Campo | 29 |
| 5.3- Procedimentos laboratoriais | 32 |
| 5.4- Análise macroscópica dos sedimentos | 33 |
| 5.5- Análise das imagens do sonar de varredura lateral | 34 |
| 5.6- Análise dos parâmetros granulométricos | 34 |
| 6. RESULTADOS | 34 |
| 6.1- Descrição macroscópica dos sedimentos | 34 |
| 6.2- Análise granulométrica | 39 |
| 6.2.1. DIÂMETRO MÉDIO | 40 |
| 6.2.2. GRAU DE SELEÇÃO | 41 |
| 6.3- Formas de fundo..... | 42 |
| 7. SÍNTESE DOS RESULTADOS | 54 |
| 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 57 |
| 9. REFERÊNCIAS | 59 |

RESUMO

O Mar do Ararapira é um estuário localizado no limite entre os estados de São Paulo e Paraná. Está conectado com a baía de Trapandé pelo canal do Ararapira e com a baía dos Pinheiros, pelo canal artificial do Varadouro. A região possui baixa ocupação, com apenas algumas vilas de pescadores, e extensas áreas de proteção ambiental – Parque nacional de Superagüi e Parque Estadual da Ilha do Cardoso. O objetivo deste estudo é caracterizar as feições e os sedimentos de fundo para compreender a dinâmica sedimentar do estuário. As feições de fundo foram caracterizadas com auxílio de sonar de varredura lateral com duas varreduras ao longo do canal, com largura de 60 m, desde a desembocadura do estuário até a foz do rio da Cachoeira. Os sedimentos de fundo foram caracterizados a partir de 54 amostras. Os sedimentos foram coletados com buscador de fundo tipo *Van Veen*. Na região próxima à desembocadura do estuário ocorre predomínio de areia média e subsidiariamente de areia fina, muito bem a moderadamente selecionada. O aumento da seleção em direção à desembocadura sugere predomínio do transporte pelas correntes de maré vazante. A região de cabeceira do estuário, a montante do canal do Varadouro, apresenta predomínio de sedimentos mal selecionados, com diâmetro médio variando de areia fina a silte/argila, o que sugere que o canal do Varadouro funciona como barreira ao transporte mantendo os sedimentos mais finos a montante da sua desembocadura. As imagens de sonar evidenciaram fundos planos e dunas 2D e dunas 3D. A montante do canal do Varadouro ocorre predominância de fundo plano, e a jusante deste canal dunas 2D e 3D. As dunas ocorrem ao longo de todo o canal. Próximo às desembocaduras do Mar do Ararapira e do canal do Varadouro ocorrem dunas 2D e 3D com espaçamento entre cristas de 15 a 30 e dunas 3D menores com espaçamento entre cristas inferior a 5 m. Já a montante do canal do Varadouro ocorrem dunas 2D apenas nas áreas próximas à foz de rios e canais de maré.

Palavras-chaves: granulometria, sonar de varredura lateral, hidrodinâmica, litoral paranaense.

ABSTRACT

The Mar do Ararapira is an estuary located on the boundary between the states of São Paulo and Paraná. It's connected with the bay of Trapandé by the Ararapira's channel and the bay of Pinheiros by the artificial Varadouro's channel. In this area there is a low occupancy with only a few fishing villages and extensive areas of environmental protection as Superagüi National Park and Ilha do Cardoso State Park. The objective of this study is to characterize the bedforms and the bottom sediments to understand the sediment dynamics of the estuary. The bedforms were characterized by side scan sonar system with two sweeps along the channel with a width of 60 m, from the inlet of the estuary to the river mouth of Cachoeira's River. The bottom sediments were characterized from 54 samples. The sediments were collected using Van Veen Grab Sampler. In the region near the inlet of the estuary occurs predominantly moderately to well select medium and fine sand. Increased selection toward the inlet suggests dominance of transport by ebb tidal currents. The region of the head of the estuary, upstream Varadouro channel presents predominantly sediment poorly sorted, with an average diameter ranging from fine sand to silt / clay, suggesting that the channel Varadouro functions as a barrier to the transport keeping the sediments thinner than upstream of its inlet. The sonar images showed flat bottoms and 2D and 3D dunes. Upstream channel Varadouro occurs predominantly flat bottom, and downstream 2D and 3D dunes. The dunes occur along the entire channel. Near the inlet of the Mar do Ararapira and the Varadouro channel occur dunes with 2D and 3D spacing ridges from 15 to 30 and smaller 3D dunes with crests spacing less than 5 m. Otherwise upstream of Varadouro channel 2D dunes occur only in areas near the mouths of the tributary rivers and tidal channels.

Keywords: granulometric, side scan sonar system, hydrodynamics, Parana coast.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Localização da área de estudo..... | 13 |
| Figura 2: Mapa apresentando a profundidade média do Mar do Ararapira, realizado em 2009..... | 16 |
| Figura 3: Tipos de sonar de varredura lateral (Ayres Neto, 2000) | 23 |
| Figura 4: Fonte Ayres Neto, 2000..... | 24 |
| Figura 5: Buscador de fundo utilizado para coleta de sedimentos..... | 30 |
| Figura 6: Distribuição dos pontos amostrados ao longo do Mar do Ararapira. | 31 |
| Figura 7: Área do percurso para amostragem com sonar de varredura lateral..... | 32 |
| Figura 8: Foto composto por uma concha de ostra com sinais de erosão e pequenas conchas de ostras aderidas a sua superfície, presente na amostra 41. | 36 |
| Figura 9: Amostra de areia com clastos arredondados de lama (indicadas com as setas)..... | 37 |
| Figura 10: Amostra de areia com fragmentos de conchas (indicados com as setas)... .. | 37 |
| Figura 11: Amostra de lama com matéria orgânica. | 38 |
| Figura 12: Classificação visual das amostras: a) areia com clastos; b) areia com fragmentos de conchas e restos vegetais; c) lamas arenosas; d) lamas com matéria orgânica; e) lamas com fragmentos de conchas e detritos vegetais. | 39 |
| Figura 13: Distribuição do diâmetro médio dos sedimentos de fundo no Mar do Ararapira. | 41 |
| Figura 14: Distribuição do grau de seleção dos sedimentos de fundo do Mar do Ararapira. | 42 |
| Figura 15: Dunas 2D e 3D, segundo Ashley (1990). a) modelo esquemático de dunas e b) exemplos de dunas 2D e 3D no ambiente. | 43 |
| Figura 16: Imagem do sonar de varredura lateral na porção norte do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com fundo plano (a) e dunas 2D (b). | 44 |
| Figura 17: Imagem do sonar de varredura lateral na desembocadura do canal do Varadouro no Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b). | 45 |

Figura 18: Imagem do sonar de varredura lateral na desembocadura do canal do Varadouro no Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b) e dunas 3D (c). As dunas 3D foram identificadas devido à sinuosidade no formato das cristas. 46

Figura 19: Imagem do sonar de varredura lateral na porção interna do canal do Varadouro, onde se observa áreas com dunas 2D (b), aparecendo de maneira mais suavizada na margem oeste (correspondente ao estado do Paraná) devido a processos erosivos dessa margem. 47

Figura 20: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b). 48

Figura 21: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b) apresenta distancia entre elas de 5 m na porção mais próxima a margem norte, e uma distancia maior (aproximadamente 10 m) na margem sul. 49

Figura 22: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b), e separadas por 15 m de distancia. 50

Figura 23: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b) e dunas 3D, apresentando de 5 a 15 m de distancia entre as cristas das dunas 2D e, de no máximo 5 m entre as dunas 3D. 51

Figura 24: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde é observado áreas com dunas 2D (b). Por ser a região próxima à desembocadura apresenta uma dinâmica mais intensa refletindo em formas de fundo com cristas menos retilíneas. As cristas das formas de fundo indicam uma área de transição com fluxos de enchente e vazante com alta intensidade. 52

Figura 25: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b), com distancia entre as cristas de 5 m. 53

Figura 26: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b) (distancia entre as cristas de 5m) e dunas 2D com marcas onduladas em suas cristas (d), com distancia entre as cristas variando de 10 a 30 m. 54

1. INTRODUÇÃO

O Mar do Ararapira está localizado no sul do litoral de São Paulo (complexo estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape) e no norte do litoral do estado do Paraná, fazendo a divisa desses estados. É separado do oceano por um estreito esporão e possui desembocadura que migra para SW (Mihály & Angulo, 2002).

O sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape localiza-se na extensa e larga planície costeira sul do estado de São Paulo e abrange mais de 70 km, com a presença de uma série de ilhas e canais, totalizando área de aproximadamente 2.500 km². As quatro principais ilhas são: Iha do Cardoso, ilha de Cananéia, ilha Comprida e Iguape. Tais ilhas são separadas por rios e sistemas de canais lagunares como o Canal do Ararapira, Mar de Cubatão, Mar de Cananéia e Mar Pequeno, canal do Valo Grande e rio Ribeira de Iguape que, se comunicam com o oceano através de desembocaduras denominadas, do sul para o norte, Barra do Ararapira, Barra de Cananéia, Barra de Icapara e Barra do Ribeira (Kumpera, 2007).

Devido a essas características hidrodinâmicas e a configuração do Mar do Ararapira, o esporão que separa essa região do oceano aberto passa por grandes processos de erosão o que pode acarretar na sua ruptura. De acordo com o estudo de Mihály & Angulo (2002), a deriva costeira predominante é no sentido NW e a maré vazante, de maneira inversa, flui em sentido SW; sugerindo que o esporão sofrerá uma abertura originando uma nova desembocadura, invertendo assim, a circulação costeira da região.

O Mar do Ararapira apresenta modificações significativas por processos de sedimentação e erosão forçados provavelmente por correntes de maré e correntes superficiais geradas pelos ventos, e também pelo formato de meandro que causa erosão e deposição nas margens côncavas e convexas respectivamente. O processo operante nos meandros lagunares, erosão na parte côncava e deposição na convexa, são o mesmo que nos rios, entretanto as velocidades que podem ser diferenciadas devido às correntes de maré, onde o sentido das feições geradas será resultante destes dois sentidos de correntes

(Kumpera, 2007). As correntes de maré que predominam e influenciam no Canal do Ararapira entram pelas barras de Cananéia e do Ararapira. A salinidade é controlada pelo regime de marés e pelo aporte de água doce no sistema originário da drenagem continental e de chuvas (Kumpera, 2007).

A caracterização dos sedimentos e feições de fundo ao longo do Mar do Ararapira deve auxiliar na compreensão de sua dinâmica. Ademais pode se constituir em importante registro das características do estuário antes da abertura da nova desembocadura e futuramente possibilitar o monitoramento das transformações do estuário e consequentemente os impactos sobre as comunidades que ali residem.

2. OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é compreender a dinâmica sedimentar do Mar do Ararapira, a partir das análises dos sedimentos de fundo e das feições de fundo.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Caracterizar os sedimentos de fundo a partir de análises granulométricas, confeccionar mapas de distribuição especificando a ocorrência de cada padrão (grau de seleção e diâmetro médio);

Analisar as feições de fundo com uso de imagens submersas obtidas de um sonar de varredura lateral (*side scan*) identificando as formas presentes, a frequência, orientação e dimensão.

3. ÁREA DE ESTUDO

O Mar do Ararapira é um corpo aquoso alongado, levemente meandrante, com orientação SSW-NNE, paralelo a linha de costa, sua extensão é de aproximadamente 33 km e sua largura varia entre 90 e 600 m e está conectado a

baía de Trapandé na latitude $25^{\circ}05' S$ e $25^{\circ}18' S$ e pelas longitudes $47^{\circ}59' W$ E $48^{\circ}06' W$ (Kumpera, 2007). Comunica-se com a baía de Trapandé - SP, através do canal do Ararapira, e com a baía dos Pinheiros - PR, através do canal da Draga ou do Varadouro, escavado na década de 50, do século XX (Figura 1).

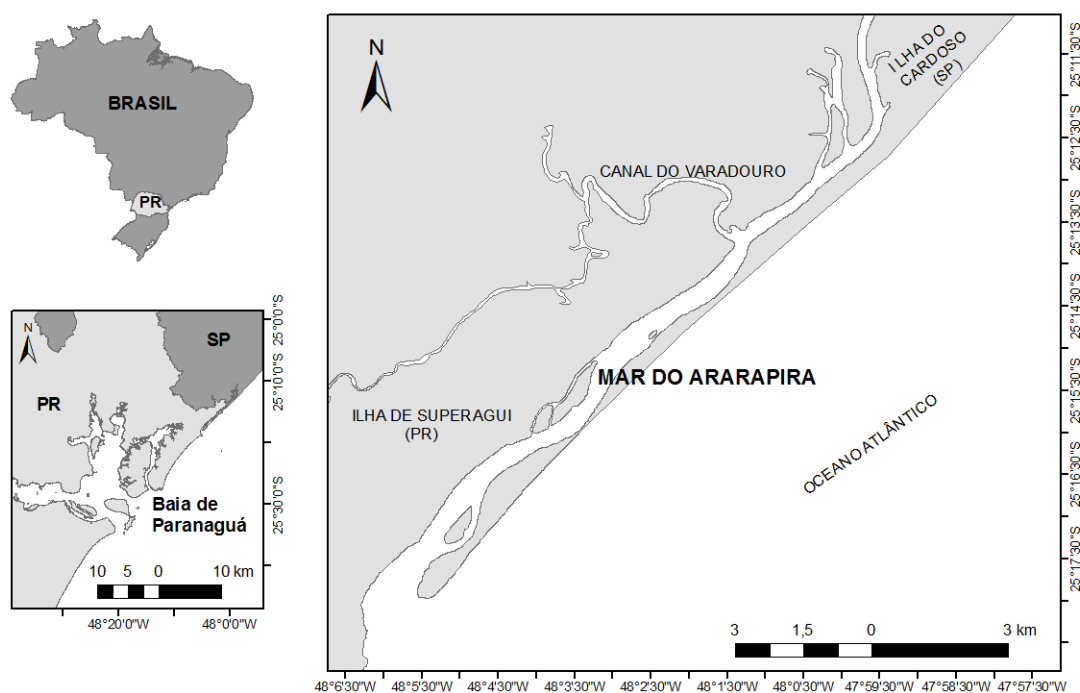


Figura 1: Localização da área de estudo.

O canal principal do Mar do Ararapira apresenta configuração de meandros fluviais onde ocorre erosão da planície costeira na sua margem côncava e deposição na margem convexa. A direção de migração da sua desembocadura para SW e deriva predominante para NE ocasionam períodos de acúmulo de areia a montante na desembocadura. Esse acúmulo ocorre quando as correntes de maré são mais fortes, intensificando o efeito de molhe hidráulico do canal principal no delta de maré vazante. Assim, a erosão na margem direita tende a deslocar a desembocadura para SW. O delta do Mar do Ararapira é um delta de maré dominado por ondas com transporte predominante na sua direção (Tessler & Mahiques 1993, Mihály & Angulo 2002) o que faz com que o deslocamento da desembocadura ocorra na direção SW, predominante durante a maré vazante.

A localização do canal marginal de enchente a NE da desembocadura indica transporte predominante de SW para NE. A localização do canal principal de vazante próximo à margem direita se deve ao Mar do Ararapira ter sua orientação paralela à linha de costa. Quando as correntes são mais fracas (por exemplo, em períodos de estiagem e marés de quadratura), a deriva litorânea predominante proveniente de SW, aumenta a eficiência no transporte de sedimentos através da desembocadura em direção NE (Mihály & Angulo 2002). Por outro lado, esta mesma dinâmica tende a erodir a margem direita da desembocadura do Mar do Ararapira, quando as correntes são forçadas a mudar sua direção pela configuração da costa.

A forma do canal como de um corpo lagunar, paralelo a linha de costa, e com desembocadura localizada no extremo sudoeste, determina que a corrente de maré vazante flua de NE para SW, sentido este inverso ao da deriva predominante. A inversão no sentido do fluxo, que ocorre na desembocadura, faz com que o padrão de circulação de maré vazante se assemelhe ao fluxo d'água de um meandro. A inflexão da corrente de maré vazante e a forma côncava da margem direita fazem com que o sentido flua preferencialmente através de um canal principal junto a esta margem (Mihály & Angulo, 2002). Ao longo do canal de Ararapira e junto à linha de costa atual estão presentes sedimentos quaternários (Suguio & Tessler, 1992).

Na margem continental do canal destacam-se os rios provenientes da Serra de Itapanhapima (rio Capivaru, rios Iriú de Cima e Iriú de Baixo), além do Canal do Varadouro, cujos meandros estreitos avançam até a Baía de Pinheiros que por sua vez, está diretamente ligada a Baía de Paranaguá. Na margem insular, os rios provenientes do maciço cristalino do Cardoso também são responsáveis pelo aporte de águas para o Canal do Ararapira. As gamboas, existentes na margem continental e no trecho da margem do maciço do Cardoso, são leitos dependentes do regime das marés, com fluxo bidirecional, conforme a enchente ou vazante, e são responsáveis, também, pelo aporte de sedimentos orgânicos, originados da vegetação do mangue circundante (Kumpera, 2007).

O esporão que separa a região do oceano aberto sofre grandes processos de erosão podendo com isso ocorrer a sua abertura. Esta abertura poderá causar mudanças hidrodinâmicas. A dinâmica do corpo lagunar da região, no que diz

respeito à circulação dos sedimentos e das correntes de marés, foi estudada através de perfis topográficos, observações das variações do volume de areia e na elaboração de um modelo conceitual da circulação na desembocadura. De acordo com este estudo, Mihály & Angulo (2002) concluíram que a deriva costeira predominante é no sentido NW e a maré vazante, de maneira inversa, flui em sentido SW; sugerindo que uma nova desembocadura será formada na região de ruptura desse esporão. Mihály & Angulo (2002) observaram na região um deslocamento lateral, em sentido SW, da sua desembocadura, com isso estimando que a abertura da nova desembocadura possa vir a ocorrer no início da segunda década do século XXI.

A salinidade do canal é controlada pelo regime de maré e pelo aporte de água doce no sistema originário da drenagem continental e das chuvas (Kumpera, 2007). O regime de ventos é controlado pelo centro de ação anticiclônico ou “centro de alta”, originando o Anticiclone do Atlântico, responsável pela origem da massa tropical marítima, e o Anticiclone Migratório Polar, responsável pela origem da Massa Polar (Müller, 2010). Predominam os ventos de ENE, E, ESSE e SE, com intensidade média de 4 m/s. O sistema de brisa na região também é bastante relevante, sendo detectadas amplitudes de até 2 m/s nos meses de novembro a março (Camargo & Marone, 1996). A maré é do tipo semi-diurna, com amplitude de micro maré, atingindo um máximo de 2m.

A batimetria do Mar do Ararapira apresenta um canal principal com curvas que acompanham a configuração das margens (Figura 2). Esse canal possui profundidade média de 6 m apresentando regiões mais rasas próximas às margens convexas e próximas a desembocadura. As regiões mais profundas estão nas margens côncavas, apresentando próximo ao esporão profundidades que alcançam 12 m (Nogueira, 2010).

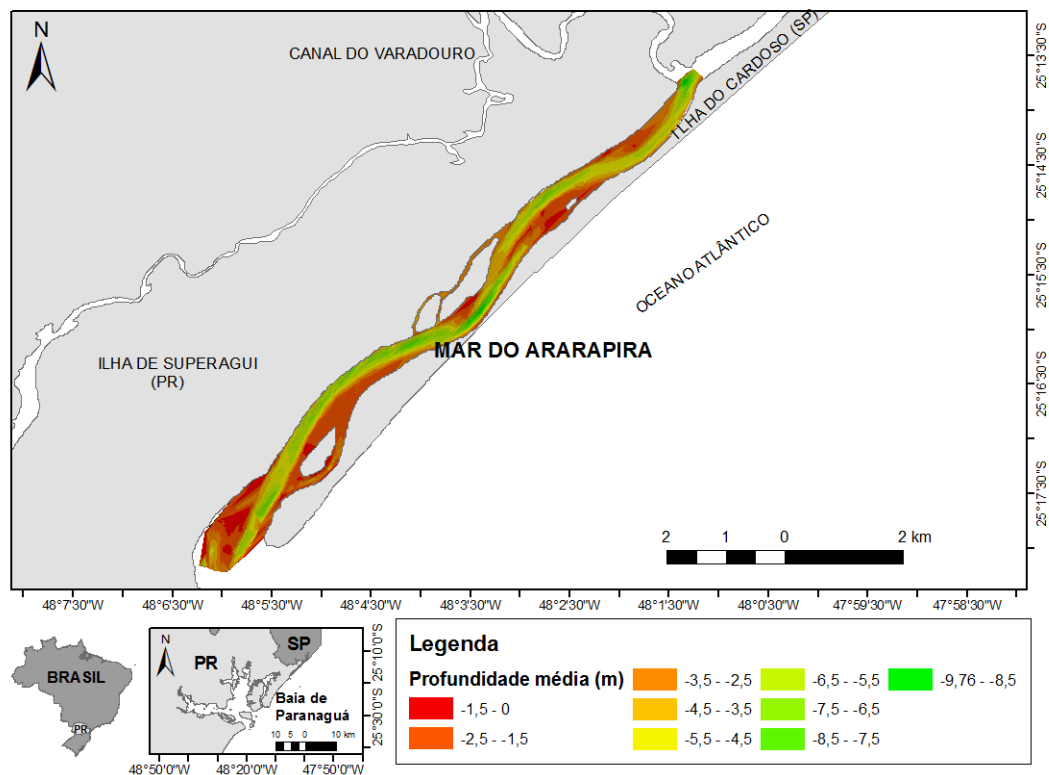


Figura 2: Mapa apresentando a profundidade média do Mar do Ararapira, realizado em 2009.

3.1- GEOLOGIA

Após o primeiro mapa geológico do litoral paranaense apresentado por Bigarella (1946) e o mapa geológico do Quaternário publicado por Martin *et al.* (1988), Angulo (2004) apresentou um novo mapa onde, dividiu a região do litoral paranaense em três unidades geomorfológicas principais: Serra do Mar, Primeiro Planalto e Planície Costeira. A Serra do Mar é composta por bordas dissecadas de planalto e por núcleos serranos formados por erosão diferencial denominada: altas serras.

O Primeiro Planalto Paranaense corresponde a áreas que antigamente pertenciam à bacia do Rio Iguaçu e que, atualmente, como consequência de sucessivas capturas drena para as bacias de Paranaguá e Guaratuba. A Planície Costeira se estende ao longo de toda a costa paranaense e tem largura de até 55 km, sendo profundamente recortada pelos estuários de Paranaguá, Laranjeiras, Pinheiros, Guaratuba e Ararapira (Angulo *et al.*, 2006; Angulo & Souza, 1998).

Segundo Giannini *et al.* (2009) grande parte da planície costeira paranaense e sul paulista é formada por sedimentos de origem marinha, com barreiras holocênicas progradantes anexadas às bem desenvolvidas barreiras pleistocênicas. Contudo os sedimentos de origem marinha foram divididos por Angulo (1992) em planície costeira com cordões litorâneos e sedimentos estuarinos.

A planície formou-se durante os dois últimos ciclos transgressivos/regressivos do Quaternário, relacionados aos ciclos glaciais. Na planície costeira foram mapeadas: planícies de cordões litorâneos e planícies paleoestuarinas do Pleistoceno Superior e Holoceno, dunas frontais do Holoceno e planície de maré, fundos rasos, deltas de maré, depressões intercordões e praias com idades atuais.

Segundo Angulo (1992) em torno do Mar do Ararapira ocorrem planícies costeiras com cordões litorâneos formados durante o Quaternário. Os sedimentos que compõe estas planícies são principalmente sedimentos arenosos praias e eólicos (Mihaly & Angulo, 2002).

A planície costeira de Cananéia-Iguape com quase 40 km de largura e 130 km de comprimento, delimitado a NE e SW por pontões de embasamento cristalino que avançam oceano adentro, perfazendo superfície de quase 2.500 km² (Suguio & Tessler, 1992). A Ilha do Cardoso, ocupando a posição mais meridional da área, é composta essencialmente por rochas pré-cambrianas (Suguio & Tessler, 1992), sendo os sedimentos quaternários restritos e localizados apenas nas suas bordas e junto à linha de costa atual ou ao longo do canal de Ararapira, feição que a separa do continente. Os autores acima concluíram que a formação Cananéia não foi depositada durante a transgressão Santos, mas durante uma transgressão pleistocênica provavelmente correspondente ao interglacial Sangamoiano.

A margem continental, envolvendo os estados de São Paulo, Paraná e Santa Catarina, apresenta como expressão morfológica maior a bacia sedimentar de Santos, separada de outras bacias menores por arcos, onde o embasamento é composto por rochas pré-cambrianas e paleozoicas (Corrêa, 1978 *apud.* Suguio & Tessler, 1992). Perfis batimétricos traçados perpendicularmente à costa

evidenciam a presença de quatro níveis topográficos, representados por quebras de relevo, respectivamente a 20- 25 m, 32-45 m, 50 m e 60-75 m. Esses níveis estariam relacionados a fases de estabilização de nível do mar durante a transgressão pós-glacial (Suguio & Tessler, 1992).

A região do Mar do Ararapira como região estuarina apresenta a margem noroeste do estuário constituída pela planície costeira arenosa, com cordões litorâneos, holocênica, do Superagui, e a margem sudeste por um esporão arenoso holocênico, correspondente à Restinga do Ararapira, que constitui o extremo sul da Ilha do Cardoso (Angulo *et al.*, 2009). Segundo Angulo (1999) somente nas desembocaduras sul da Baía de Paranaguá e Mar do Ararapira foram identificadas feições interpretadas como deltas de enchente.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Ao longo de aproximadamente 8.500 km de litoral brasileiro, existem centenas de estuários, sistemas estuarinos e lagunas costeiras, com dimensões que variam desde pouco a centenas de quilômetros. No norte do Brasil, encontramos um dos mais espetaculares sistemas estuarinos deltaicos, o rio Amazonas, e, ao sul, a maior laguna costeira da América do Sul, a lagoa dos Patos. Muitos desses ambientes contribuem para o desenvolvimento de grandes e médias cidades brasileiras e, como consequência passando por modificações a partir dos processos de sedimentação e erosão, alterando as características tais como: forma, volume de água doce, ação das correntes de maré e variação na qualidade da água, que são alteradas por fenômenos naturais e pelo homem no decorrer dos séculos (Miranda *et al.*, 2002).

- Estuários

Segundo Miranda *et al.*, 2002, estuários são ambientes de transição entre o continente e o oceano, onde rios encontram o mar, resultando na diluição mensurável de água salgada. Com algumas exceções, os estuários se formaram em regiões relativamente estreitas de transição entre o mar e as terras continentais. São ambientes de época geológica muito recente (menos de cinco

mil anos), formado por alterações do nível do mar de natureza eustática (variações de volume de água dos oceanos) ou isostática (variações do nível da crosta terrestre), bem como por processos de origem tectônica.

A localização, formas e extensões dos estuários dependem do nível do mar, da topografia do litoral e dos rios e, foram alteradas por processos erosivos e deposicionais de sedimentos no início naturais e, mais recentemente, como consequência da exploração das bacias de drenagem (Miranda *et al.*, 2002).

Contudo estuários podem ter diversas definições, segundo Miranda *et al.* (2002) para geólogos, oceanógrafos, engenheiros e ecologistas estuários são regiões interiores dos ambientes costeiros, onde ocorre o encontro das águas fluviais com a do mar transportada pelas correntes de maré, estendendo-se rio acima até o limite de influencia da maré. Os processos que ocorrem dentro de um estuário são interligados, para entender como ocorre um precisa-se ao menos da base de todos os outros, por isso a importância da interdisciplinaridade para estudar estuários.

Em média as águas estuarinas são biologicamente mais produtivas do que as do rio e do oceano adjacente, devido às características hidrodinâmicas da circulação que, aprisionando nutrientes, algas e outras plantas, estimula a produtividade desses corpos de água. A renovação e depuração das águas desses ambientes dependem de interações entre processos físicos, químicos, biológicos e geológicos ainda não muito bem compreendidas. Os processos de grande importância para a manutenção de um estuário são: a descarga de água doce na parte interna, a entrada de água salgada pela parte externa, o transporte associado de sedimentos em suspensão e os nutrientes orgânicos e inorgânicos (Mclaren & Bowles, 1985).

Atividades humanas que causam degradação ambiental podem ter consequências importantes nos estuários. O aumento da sedimentação de um rio devido ao grande processo erosivo pode acarretar maior descarga de sedimentos no estuário. As áreas que margeiam os rios são ocupadas por agricultura ou cidades o que deixa o sedimento rico em produtos tóxicos, com isso o sedimento carregado leva até o estuário toda a poluição que recebe. A entrada de produtos químicos nocivos pode ser carregada para o oceano na ciclagem da água feita

pela maré no estuário, o que causa danos na fauna e flora presente nesses ambientes. Porém não é só a biologia do estuário e do oceano que estão em risco, mas a porção abiótica também, pois a água estando contaminada e o sedimento também essa contaminação pode permanecer por anos aprisionados, devido à dinâmica desses ambientes (Moore *et al.*, 2009).

A forma de um estuário é controlada pela combinação hidrodinâmica de condições do ambiente sedimentar, da oferta de sedimentos e da geologia adjacente (Moore *et al.*, 2009). A evolução da forma das bacias de maré, especificamente é o resultado da interação continua entre o ambiente sedimentar e a propagação não linear das marés (Dronkers, 1998 *apud* Moore *et al.*, 2009). Tais interações podem resultar em circulação residual e variação espacial no fluxo de sedimentos (convergência e divergência levando ao acréscimo líquido ou erosão). Além disso mudanças morfológicas afetam a hidrodinâmica da maré e o regime de movimento dos sedimentos, particularmente variações na profundidade do estuário e na elevação das áreas entre marés (Moore *et al.*, 2009).

Segundo Moore *et al.* (2009) as marés podem apresentar duas características que influenciam diretamente na dinâmica dos sedimentos dentro de um estuário, podendo ser simétricas (quando as velocidades e propagação entre a vazante e a enchente são semelhantes) e assimétricas (com diferença de amplitude entre as marés). A primeira causa ausência de transporte líquido de sedimentos, não causando grandes mudanças na configuração do estuário, porém, a segunda causa grande oscilação na onda de maré o que pode acarretar em balanço positivo ou negativo de sedimentos.

Os sedimentos depositados no fundo de áreas marítimas, ou estuarinas constituem a resultante final de todas as formas, fatores e agentes ocorrentes. Os sedimentos têm sua distribuição de acordo com determinados padrões e características, sendo consequência direta de todo o complexo de situações e condições atuantes (Kutner, 1976 *apud* Kumpera, 2007).

No sistema estuarino-lagunar de Cananeia-Iguape, as correntes de maré e as descargas de água continental são os principais fatores condicionantes da distribuição dos sedimentos de superfícies de fundo e dos processos de mistura e renovação de águas (Kumpera, 2007). Os depósitos sedimentares desses

sistemas são compostos por variadas proporções de materiais originados pela combinação entre ambientes marinhos e fluviais. A predominância de um deles depende de sua magnitude em relação aos outros e da dinâmica dos processos de erosão, transporte e deposição, sendo o comportamento dos sedimentos determinado pelos processos de aporte fluvial, ação de marés e componentes meteorológicas (Kumpera, 2007).

O processo de sedimentação sempre organiza os sedimentos em feições e forma de leito. (Fritz & Moore, 1988).

- Método de investigação do fundo

A partir de métodos de investigação indireta do fundo podem-se obter dados sobre varias características de regiões nas quais métodos diretos seriam difíceis de serem utilizados. Batimetria, sonografia e sísmica são os métodos mais utilizados para o conhecimento do fundo e sub-fundo marinhos através de mecanismos de emissão, transmissão e reflexão de ondas acústicas por meio de diferentes propriedades físicas. O sucesso das ferramentas geofísicas é dado uma vez que o imageamento obtido por esse processo fornece um grande número de dados num curto espaço de tempo, diminuindo o período e os custos da realização dos projetos (Ayres Neto, 2000).

A partir dessa investigação do fundo podem-se obter dados sobre características específicas de cada região. Dentre essas características estão as feições de fundo a partir das quais podem ser inferidos comportamentos hidrodinâmico de áreas observadas. Essas feições podem estar bem marcadas apresentando padrões de fácil entendimento, ou estarem dispostas de maneira mais complexa, dificultando a interpretação da dinâmica do local.

Observando as feições de fundo pode-se ter uma interpretação da direção predominante de correntes, um registro do tipo de sedimento presente, de presença ou não de rochas. A observação dessas feições de fundo pode ser realizada através de sonografia, realizadas por sonares de varredura lateral (*side scan*).

Segundo Souza (2006), somente a partir dos anos 60, do século XX, os sonares passaram a emitir vários pulsos acústicos simultaneamente, ao contrário dos primeiros modelos que emitiam um único pulso e numa direção específica. Passaram também, nesta mesma época, a apontar lateralmente em relação à rota de navegação, e não verticalmente para baixo, como até então, permitindo desta forma a construção de uma imagem da superfície de fundo a partir de uma série de sucessivas varreduras (*scans*) laterais. Com a evolução dos sistemas de aquisição de dados, estes equipamentos passaram ainda a ser rebocados a certa distância da embarcação e mergulhados na coluna d'água, o que em muito melhorou o desempenho do sistema e a qualidade dos sinais registrados, pois assim o sistema ficou à parte dos ruídos e das movimentações inerentes da embarcação, bem como passou a existir a possibilidade de posicionar a fonte acústica abaixo da termoclina, evitando-se deste modo a interferência de outros fenômenos acústicos sobre o sinal emitido (refração etc.).

- Sonar de varredura lateral

O uso de sonares de varredura lateral auxilia investigações geológicas, oceanográficas e geotécnicas. Nas áreas de geologia e oceanografia são utilizados para o mapeamento detalhado de áreas submersas, caracterização de processos sedimentares atuantes, identificação de bancos arenosos, afloramentos rochosos e outras estruturas. Podem ser utilizados também para delimitar áreas de riscos a algumas estruturas (como plataformas de petróleo, dutos de gás etc.), sendo essas áreas de riscos recifes de corais, taludes instáveis, cânions submarinos, evidências de depósitos de gás subsuperficiais, afloramentos rochosos e *beachrocks* (Souza, 2006).

Os sonares de varredura lateral são utilizados no Brasil, principalmente pela Petrobrás e por universidades que realizam pesquisas em áreas da plataforma continental interna, para investigação de ambientes de sedimentação. Esses estudos são realizados juntamente com outros sistemas, principalmente devido às limitações dos equipamentos existentes no país, que são configurados para águas rasas.

A sonografia fornece informações sobre as características morfológicas e sedimentológicas do fundo do oceano. Ela mostra feições expressivas do relevo e a variação da distribuição superficial dos sedimentos. Em certas condições, pode fornecer ainda informações sobre a ação de correntes marinhas sobre estes sedimentos. Os registros sonográficos são capazes de mostrar também a presença de qualquer objeto sobre o fundo do mar como navios naufragados e estruturas de produção *offshore* (Ayres Neto, 2000).

O método da sonografia utiliza sonares de varredura lateral que tem, segundo Ayres Neto & Batista Neto (2004), como principal característica a emissão de 2 feixes de sinal acústico, um para cada lado do equipamento. Os sistemas de sonares podem ser divididos em dois grupos: a) rebocados próximos à superfície do mar (*shallow-tow*) e b) rebocado próximo ao fundo (*deep-tow*) (Figura 3). A diferença entre os grupos é a frequência do sinal e com isso a área de abrangência da varredura. O *shallow-tow* apresenta uma frequência mais baixa (6 a 12 kHz) podendo cobrir grandes áreas e reconhecer grandes feições. O *deep-tow* reconhece feições menores e cobre uma área menor, apresentando alta frequência de sinal (100 a 500 kHz).

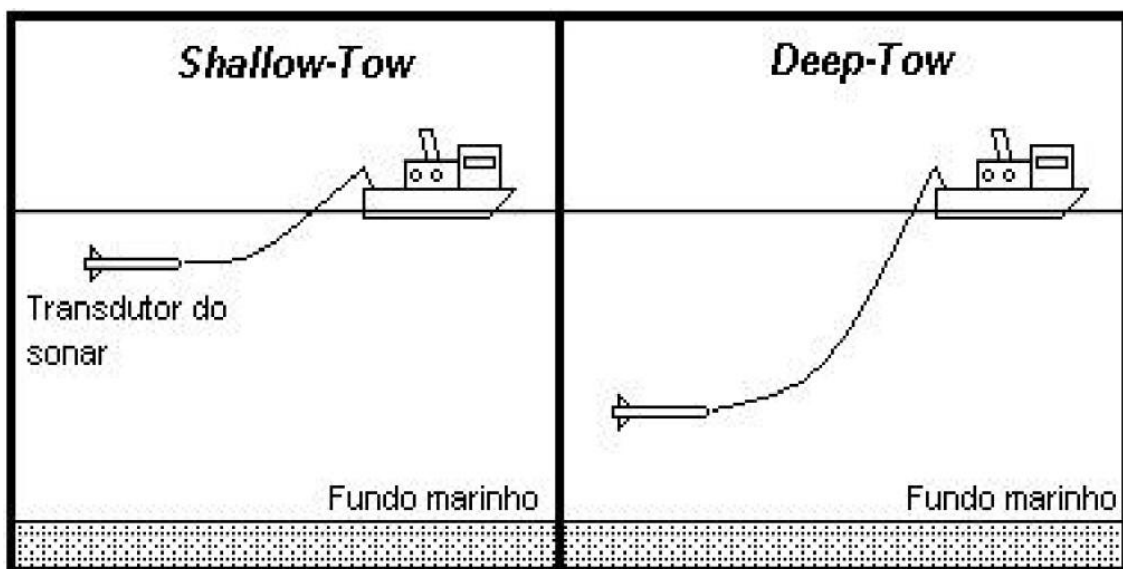


Figura 3: Tipos de sonar de varredura lateral (Ayres Neto, 2000)

Dados sonográficos são diferentes de dados ópticos, não apenas pela maneira como são obtidos, mas também pela maneira como são apresentados graficamente. Os dados parecem uma fotografia em dois tons apenas, indicando

a diferença entre os tons como as características a serem observadas. As imagens são principalmente em tons de cinza em seu resultado final, muito parecida com uma fotografia aérea em preto e branco.

Quando um sonar é usado em regiões oceânicas os meios pelos quais o feixe do aparelho terá que interagir serão: a água do mar e os sedimentos do fundo. A velocidade do som na água do mar é relativamente constante, o que pode variar é a densidade dos sedimentos de fundo que dependem de sua mineralogia, porosidade e teor de água (Figura 4).

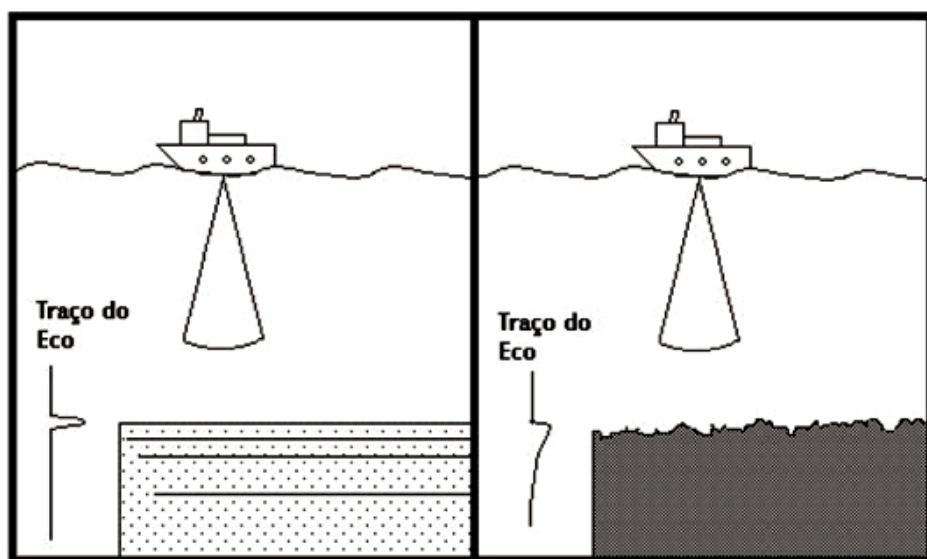


Figura 4: Fonte Ayres Neto, 2000.

Na água do mar as ondas acústicas se propagam com uma velocidade em torno de 1500 m/s. A variação da velocidade na água do mar depende basicamente da salinidade não sofrendo muita influência da pressão e da temperatura. A velocidade de propagação nos sedimentos, por sua vez, depende dos módulos de compressão e rigidez (Ayres Neto, 2000). Os mesmos transdutores de emissão do sinal acústico são também responsáveis pela recepção do sinal, oriundos da reflexão ou do *backscattering* na superfície de fundo, e atuam independentemente um do outro. Os transdutores, geralmente constituídos por conjuntos de pastilhas piezoelétricas, formam a parte principal do sistema, já que são os responsáveis pela conversão da energia elétrica em energia mecânica (vibrações). Essa energia irá se propagar na coluna d'água, e

vice-versa, quando do retorno do sinal, retornando na forma de energia mecânica, ao transdutor, após refletir na superfície de fundo (Souza, 2006).

A reflexão está relacionada com o sinal que atinge a superfície de fundo e retorna diretamente ao transdutor, numa reflexão total; o *backscattering* está relacionado com a interação entre a energia sonora e a textura do material da superfície de fundo. A quantidade de energia que retorna ao transdutor, seja por qualquer um destes fenômenos, está diretamente relacionada, em primeiro lugar, com o tipo de pulso acústico emitido (cada equipamento possui propriedades específicas), e em segundo lugar, com o tipo de fundo e suas propriedades acústicas (impedância acústica etc.). Superfícies extremamente homogêneas favorecerão um baixo retorno dos sinais e, superfícies heterogêneas propiciarão retorno do sinal com maior energia, pois neste caso, pelo menos estatisticamente, maior será a probabilidade da existência, na superfície de fundo, de micro áreas ou rugosidades, com faces voltadas para o transdutor, o que evidentemente contribui diretamente para o aumento das reflexões totais do sinal emitido na direção do transdutor (Souza, 2006).

- Imagens

As imagens obtidas por um sonar de varredura lateral são produzidas através de um feixe acústico realizado pelo aparelho em perfis desenhados pela embarcação onde esse aparelho encontra-se acoplado. O sonar lança um feixe fino na direção do perfil e bastante estendida na direção transversal do perfil. A imagem é gerada a partir de um coeficiente de reflexão, que é a função da diferença de impedância acústica entre dois meios, quanto maior for essa diferença maior será a quantidade de energia refletida (Ayres Neto & Batista Neto, 2004).

O tom que a cor apresenta na imagem obtida depende da granulometria do sedimento, e da posição da feição. A crista da onda aparecerá em tons mais claros que a cava, dependendo da direção da feição e do aparelho. Quanto mais grosso for o sedimento maior a quantidade de energia refletida. Uma areia grossa refletirá mais energia do que um sedimento composto por partículas finas. Isso acontece devido à irregularidade e a área de incidência causada por grãos

maiores permite que a energia incidente em determinados pontos seja preferencialmente refletida. Uma região com areia muito grossa e areia fina apresentará um padrão de reflexão muito semelhante a uma área coberta por areia fina e lama (Ayres & Aguiar, 1993 *in* Ayres Neto & Batista Neto, 2004). Os vários tons de cinza que se observam nos registros resultam da intensidade da reflexão do sinal. Essa reflexão se dá em função da textura e morfologia do fundo, da granulometria do sedimento e de características particulares do sedimento como, por exemplo, o grau de compactação (Quaresma *et al.*, 2000).

O sinal acústico de alta frequência emitido pelo sonar não penetra através dos (extratos) sedimentares, levando-se em conta a alta frequência emitida, porém pode permitir, ao retornar ao transdutor, a obtenção de informações detalhadas da subsuperfície de fundo que possibilita a identificação, com grande precisão, de feições na superfície de fundo, como estruturas sedimentares, contatos litológicos ou objetos diversos, tais como naufrágios, dutos etc. (Souza, 2006).

Se o fundo do mar fosse inteiramente plano (em todas as escalas) a quantidade de energia refletida obedeceria unicamente a Lei de Snell (ângulo de incidência igual ao ângulo de reflexão). Mas o fundo do mar é irregular em micro-escala. Esta micro-topografia é responsável pela dispersão de parte da energia acústica e localmente pelo aumento da energia refletida: por exemplo, as cristas de ondas de areia de pequena escala causam um incremento da energia refletida em um flanco e grande dispersão em outro flanco (Ayres Neto, 2000). De acordo com Souza (2006) a existência de rugosidades na superfície de fundo, seja devido à granulometria ou à micro e macrotopografia de fundo, é que proporcionará o espalhamento (*scattering*) do sinal incidente, e parte deste sinal atingirá os transdutores (*backscattering*). A intensidade do sinal oriundo da superfície de fundo é função também do ângulo de incidência do sinal emitido. Quanto mais rugosa a superfície de fundo e menor o ângulo de incidência, maior intensidade terá o sinal de retorno a ser registrado.

Os padrões encontrados nas feições devem ser estudados juntamente com outros parâmetros das regiões a serem estudadas. Podem ser realizados

estudos com mais de um parâmetro geofísico (correntômetros, ecosonares, ecobatímetros), ou métodos diretos de observação como coleta de sedimentos de fundo. A partir da junção desses estudos podem ser inferidas conclusões sobre dinâmica e comportamento morfodinâmico.

As imagens sonográficas podem apresentar diferentes tipos de feições de fundo, dependendo da resolução usada do aparelho sonográfico. Um aparelho sonar de varredura lateral pode fazer um mapeamento expandindo o feixe lançado de 30 a 250 m (DeepVision, 2009), como o *DeepEye 340*, utilizado nesse trabalho. Porém existem aparelhos que abrangem grandes áreas de cobertura e de maiores profundidades podendo estender esses feixes, na ordem de 10^2 metros aproximadamente, para cada lado do aparelho (Souza, 2006). Esse feixe combinado com a velocidade da embarcação onde o sonar se encontra e a quantidade de cabo preso ao aparelho resulta na profundidade na qual vai se deslocar dentro da água e na resolução que as imagens podem ter. Quanto maior o feixe a ser lançado pelo aparelho menor será a resolução das imagens e maior será a feição que ele registrará, perdendo com isso feições de escala menor. Porém se a área a ser estudada for de maior profundidade não haverá feições da ordem de 10^1 metros e sim da ordem de 10^2 metros e isso exigirá que o aparelho tenha um feixe maior para poder capturá-las.

As imagens apresentam feições que podem ser caracterizadas a partir de padrões identificados através de análises visuais e métricas. A formação de uma determinada feição representará o tipo de fluxo (agente de transporte) e modos de transporte associado ao material sedimentar (agente transportado) que atuaram durante a formação e evolução das formas. A análises dessas formas de fundo são geralmente associadas à morfologia e composição dos sedimentos, que vai induzir sobre o fluxo do seu desenvolvimento, e sobre a estratigrafia que indicará que tipo de fluxo induziu a evolução das formas (Moscon & Bastos, 2010).

Os sonares de varredura lateral permitem que formas de fundo sejam estudadas de maneira mais acessível, pois as imagens geradas pelos aparelhos são eficientes para a visualização e medição dessas feições. A partir do estudo de

suas formas, medição dos ângulos que apresentam tamanho das formas, distancia entre elas e direção que apresentam pode ser inferida características da região.

As formas de fundo são estruturas de diversidade e complexidade que desafiam a sua descrição. São formadas por sedimentação por correntes, as formas mais comuns são as marcas de ondas e dunas (Fritz & Moore, 1988).

As principais características que devem ser levadas em conta para estudar e caracterizar as formas de fundo são segundo Fritz & Moore (1988) são: o perfil longitudinal, o tamanho e a forma em planta das cristas. Essas feições podem ser simétricas e assimétricas em relação ao perfil longitudinal, porém a forma em planta das cristas é mais complexa de ser caracteriza, elas podem apresentar cristas em linha reta, sinuosas, semilunares, linguoides, romboides, em cúspides ou irregulares.

- Nomeclatura

São chamadas de dunas quando apresentam uma forma mais lunar ou linguoide e são assimétricas, e quando é mais simétrica sinuosa ou reta podem ser denominadas de marcas de ondas, o que vai diferenciar as marcas de onda é apenas o tamanho entre a cava e a crista delas, e a distancia entre elas (Fritz & Moore, 1988). Porém segundo Ashley (1990) as formas de fundo aparecem em classes de tamanhos com limites naturais e espaçamento de menos de 1 m a 100 m e devem receber uma única nomenclatura: duna, sendo classificadas pela forma em dunas 2D e 3D. As formas de fundo estão presentes em toda superfície de fundo de regiões aquosas.

De acordo com Fritz & Morre (1988) e Ashley (1990), as formas que essas formas de fundo apresentam podem variar não somente pela granulação sedimentar como também pela influência hidrodinâmica presente na região. A intensidade das correntes, a configuração do corpo aquoso e a profundidade determinam o tipo de forma de fundo que estará presente.

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1- Pré-campo

Antes da realização do trabalho de campo foram analisados trabalhos anteriores, para um maior conhecimento da área a ser estudada. Foram observados mapas anteriores e com isso demarcada a possível área a ser mapeada com o sonar e em quais locais seriam realizadas as coletas de sedimento.

O sedimento foi coletado para complementar uma área estudada anteriormente por Muller (2011) sendo adicionados novos pontos em região ainda não estudada. Com isso a área com dados de sedimentos cobriu desde a desembocadura do Mar do Ararapira até uma seção mais ao norte após a desembocadura do canal do Varadouro.

Para obter os dados morfológicos da superfície de fundo foi utilizado um sonar de varredura lateral para mapear toda a área onde foram realizadas coletas de sedimento com o intuito de correlacionar os dados. O aparelho utilizado foi um sonar de varredura lateral modelo DE340 que opera em uma frequência de 340 kHz, com uma resolução de 10 cm, e alcançando uma profundidade máxima de 100 m (Deepvison, 2009). Seguindo as características do aparelho o range de abertura dos feixes laterais foi de 30 m para cada um dos lados, podendo com isso alcançar uma parte significativa do canal em duas abordagens (sentido N-S, e posteriormente S-N) no canal.

Para a realização do trabalho de campo foi escolhida uma embarcação com capacidade de levar todos os equipamentos e pessoas necessárias, e também que tivesse autonomia para toda a duração do mapeamento.

5.2- TRABALHOS DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado no mês de setembro de 2011, com uma embarcação de casco de madeira, com 12.5 m de comprimento por 3.2 m de largura com capacidade para 60 passageiros, 01 motor diesel da marca *Mercedes Benz* modelo 366, onde foram coletadas as amostras de sedimentos e realizado a obtenção das imagens superficiais do fundo.

As amostras de sedimentos foram obtidas com uso de um buscador de fundo do tipo Van Veen (Figura 5).



Figura 5: Buscador de fundo utilizado para coleta de sedimentos.

As amostras foram coletadas de forma a completar os pontos de coletas realizados por Müller (2010) na porção entre o canal do Varadouro e a desembocadura do mar do Ararapira. Na porção acima do canal do Varadouro foram coletadas em ambas as margens e na parte central do canal, até a altura da desembocadura do rio da Cachoeira (Figura 6). Os pontos de coletas realizados no trabalho de Muller (2010) apresentavam espaçamento entre eles e não cobriam satisfatoriamente a área, com isso nesse trabalho adensamos a malha amostral para a realização de um mapeamento sedimentar mais completo.

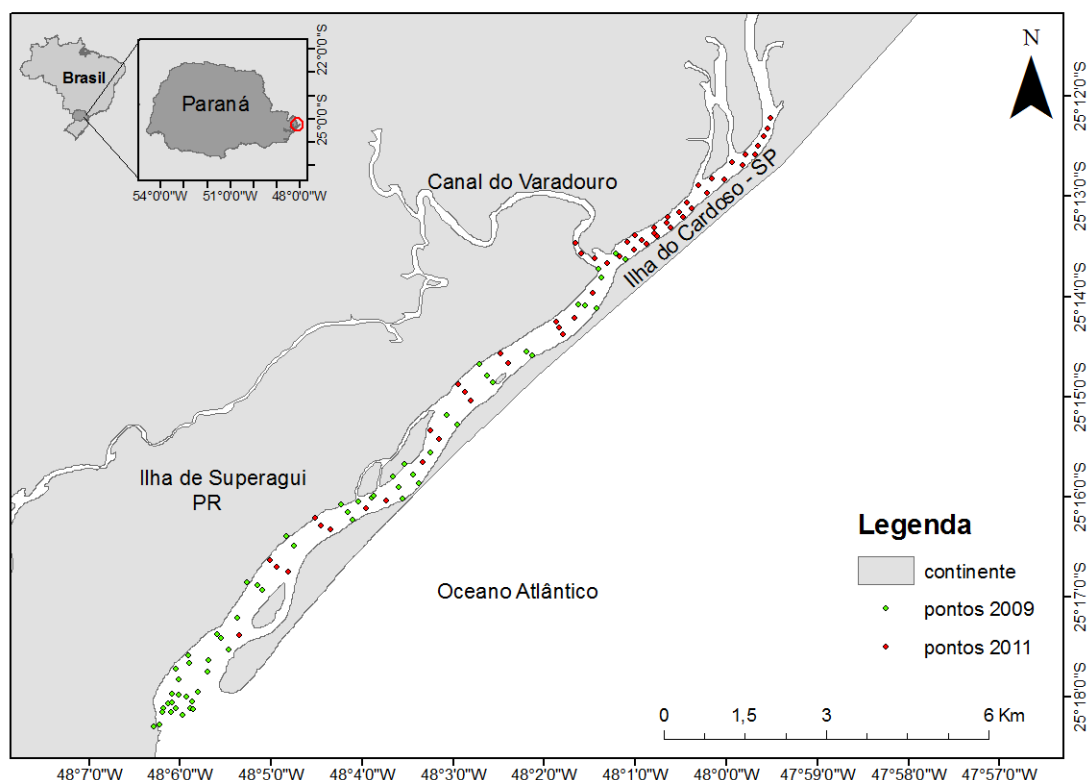


Figura 6: Distribuição dos pontos amostrados ao longo do Mar do Ararapira.

As imagens de fundo foram obtidas através de mapeamento realizado com sonar de varredura lateral (*side scan*), que obtém imagens através de registros obtidos por sinais sonoros com capacitação de retorno (conhecidos como pulsos ou eco) do fundo do mar. O mapeamento foi realizado com o equipamento submerso em subsuperfície, arrastado pela parte traseira do barco por um cabo estendido à uma distancia de aproximadamente 7 m da embarcação. Com o auxilio de um fio conectado a um computador recebendo as imagens em tempo real, foi determinado à área de varredura do equipamento. A cobertura de toda a área foi realizada em dois dias devido à extensão que foi analisada e a velocidade baixa que a embarcação precisava manter para serem obtidas imagens de qualidade, ao final de cada dia essas imagens eram armazenadas para uma análise posterior (Figura 7). Os pontos de coleta de sedimento e todo o trajeto realizado pelo sonar de varredura lateral foram registrados geograficamente por um GPS manual.

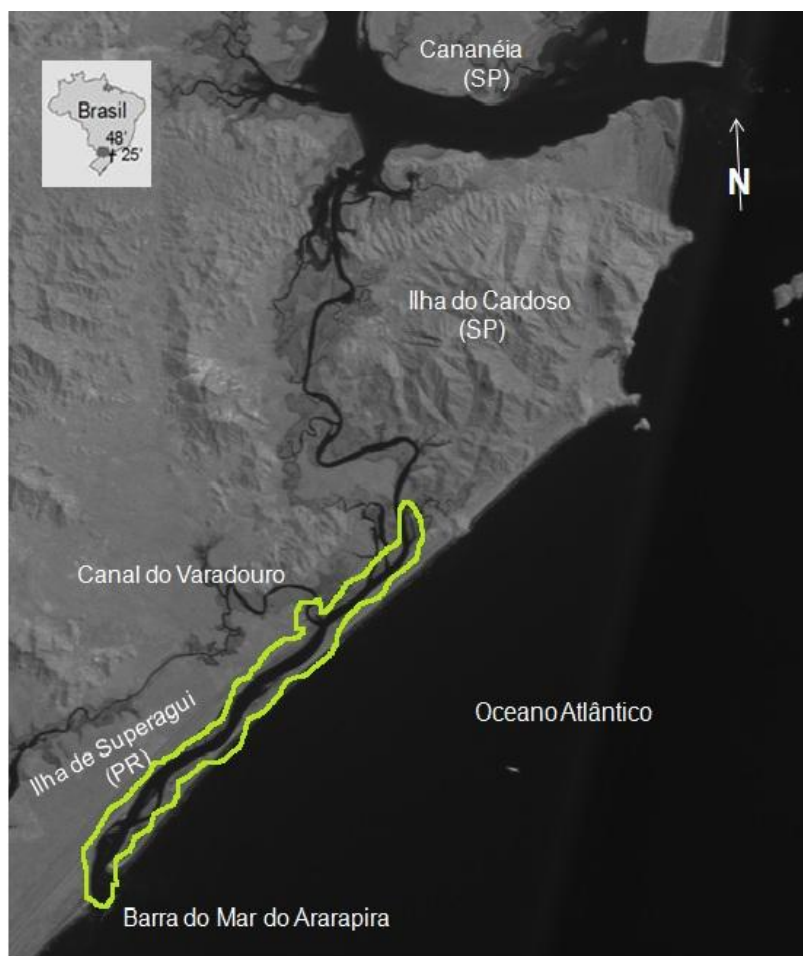


Figura 7: Área do percurso para amostragem com sonar de varredura lateral

5.3- PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

As amostras coletadas durante o trabalho de campo foram processadas no laboratório de sedimentologia da Universidade Federal do Paraná (LabSed), com o auxílio do técnico responsável.

A maior parte dos sedimentos apresentou mais de uma fração granulométrica, existindo desde sedimentos finos, sedimentos arenosos com partículas argilosas até areias grossas e muito grossas, ou, ainda grânulos e seixos. Sendo com isso necessário combinar os métodos de análises, de maneira que os grossos sejam peneirados e os mais finos separados pelos diversos processos, que são baseados na lei de Stokes (Suguio, 1973).

As amostras de sedimentos foram separadas em alíquotas de cerca de 100 g. Amostras com baixa quantidade de silte e argila (finos), mostrando uma

granulação mais arenosa foram lavadas no elutriador e secas em uma estufa a aproximadamente 60°C. As amostras com alto teor de finos, apresentando uma granulação mais argilosa, foram pesadas e analisadas *in natura* e posteriormente foi descontado o teor de umidade e o teor de matéria orgânica, previamente mensurados após as amostras secas na estufa.

A análise granulométrica é um tratamento que expressa de maneira objetiva em uma curva estatística a distribuição da frequência de classes das amostras. Essas análises foram realizadas por métodos convencionais adotando o peneiramento para partículas mais grossas que 0,062 mm (frações areia) e pipetagem para frações mais finas (silte e argila). A classificação granulométrica foi baseada na escala de Wentworth, e os intervalos de pipetagem calculados segundo a lei de Stokes sob temperatura constante de 20°C apresentados nos trabalhos de Suguio (1973) e Giannini (1987).

Os parâmetros granulométricos estatísticos estabelecidos por Folk & Ward foram obtidos utilizando o *software Momentos*, versão 4, desenvolvido por Paulo C. F. Giannini, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo - IGc-USP.

5.4- ANÁLISE MACROSCÓPICA DOS SEDIMENTOS

Os sedimentos foram descritos macroscopicamente para a identificação das características que se perdem após o processo de análise laboratorial das amostras e não são corretamente identificadas nas análises granulométricas.

Essa análise consiste em uma descrição visual das amostras para caracterização inicial do que cada uma oferece de informação específica. Algumas amostras apresentam características como, por exemplo, amostras arenosas com presença de bolas de clastos. Essas amostras após análises laboratoriais são caracterizadas como amostras com alto teor de silte e argila, porem não é um fato real, a amostra não é argilosa e sim arenosa, mas devido à dinâmica do local apresenta bolas de clastos. Essa diferença nos resultados podem influenciar de maneira errada na determinação das características de áreas analisadas.

5.5- ANÁLISE DAS IMAGENS DO SONAR DE VARREDURA LATERAL

As imagens obtidas a partir do mapeamento realizado com o sonar de varredura lateral foram analisadas com o objetivo de observar as formas de fundo para uma caracterização delas e uma descrição do comportamento dos sedimentos ao longo do Mar do Ararapira. A diferença na cor das imagens, e no tamanho e formas das formas de fundo ao longo da região estudada foi o que permitiu a análise da sedimentação através das imagens do fundo.

As imagens foram processadas com o *software* Deepview, onde foram obtidas as medições (tamanho, frequência e direção) das formas de fundo observadas e limpeza dessas imagens (retirada de ruídos e linhas de sombra do aparelho). Após o processamento as imagens foram compiladas de modo que pudessem ser utilizadas para geração de mapas. Esses mapas foram confeccionados no *software* ArcGis 9.2, sendo editadas de maneira a especificar as formas de fundo.

5.6- ANÁLISE DOS PARÂMETROS GRANULOMÉTRICOS

Os parâmetros granulométricos foram analisados e processados para a confecção de mapas no *software* ArcGis 9.2, utilizando a interpolação de análise espacial “vizinho natural”, que agrupa os dados com fatores próximos e correlatos. Com o objetivo de produzir mapas temáticos do desvio padrão (grau de seleção) e do diâmetro médio das amostras.

6. RESULTADOS

6.1- DESCRIÇÃO MACROSCÓPICA DOS SEDIMENTOS

A coleta realizada em setembro de 2011 obteve sedimentos em sua maioria com matéria orgânica em maiores quantidades em pontos mais distantes da desembocadura. Os sedimentos da porção mais ao norte do Mar do Ararapira,

ou seja, a montante da foz do canal do Varadouro apresentaram maior quantidade de matéria orgânica e granulação de areia fina.

Foram coletadas 54 amostras de sedimentos a partir da desembocadura do Mar do Ararapira, sendo 26 pontos de coleta distribuídos até a foz do canal do Varadouro, e o restante ao norte dessa área. As primeiras amostras apresentavam granulação de areia mais fina, odor forte e coloração mais escura. Essas características de coloração e odor indicam amostra com grande quantidade de matéria orgânica, o que ficou fortemente evidenciado devido à presença de manchas de ferrugem após a armazenagem, devido ao processo de oxidação que a matéria orgânica em presença de oxigênio possui. As amostras 1 a 20 apresentaram matéria orgânica, com granulação de areia média.

As amostras 21, 23 e 24 apresentaram areia fina, uma consistência mole e grande presença de matéria orgânica, característica observada pelo odor e cor das amostras. Outra característica frequente nas amostras 1 a 26 foram presença de bolas de lama. 50% das amostras apresentou essa característica de forma visual, ou na consistência da amostra. As amostras 5 a 26 apresentaram uma granulação mais próxima a areia média ou grossa, com uma coloração mais clara porém a 14 e a 18 apresentavam fragmentos de conchas, com destaque para a amostra 18 que possuía uma maior quantidade de fragmentos de conchas. As amostras também apresentavam manchas mais escuras, bolas de lama, indicando presença de sedimentos finos e matéria orgânica.

. As amostras 27 a 54 apresentavam granulação de areia fina, algumas de consistência líquida, com coloração marrom escuro e com odor forte, indicando presença de matéria orgânica. Nas amostras a montante do canal do Varadouro, uma característica diferente das anteriores apareceu, apresentavam fragmentos de conchas e fragmentos vegetais, que apenas as amostras 14 e 18 da porção mais ao sul do Mar do Ararapira apresentaram. Esses fragmentos apareceram em 33% das amostras, um exemplo é a amostra 41, que apresentou um bioclasto com 62 mm de comprimento, composto por uma concha de ostra com sinais de erosão e pequenas conchas de ostras aderidas a sua superfície (Figura 8).



Figura 8: Foto composta por uma concha de ostra com sinais de erosão e pequenas conchas de ostras aderidas a sua superfície, presente na amostra 41.

A descrição possibilitou a identificação de cinco tipos de sedimentos: (a) areia com seixos e grânulos, (b) areia com bioclastos (fragmento de conchas e restos vegetais), (c) lamas arenosas, (d) lamas com matéria orgânica, e (e) lamas com fragmentos de conchas e detritos vegetais.

(a) As areias são de coloração amarelada com clastos arredondados de lama de cor marrom (Figura 9).

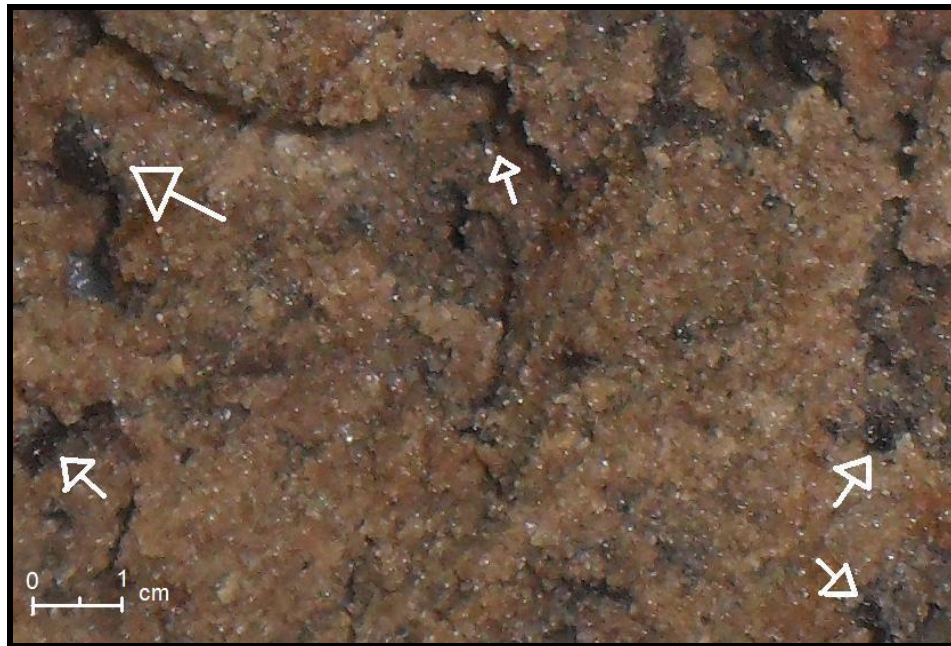


Figura 9: Amostra de areia com clastos arredondados de lama (indicadas com as setas).

(b) As areias com fragmentos de conchas e restos vegetais correspondem a areias amareladas com detritos biológicos abundantes (Figura 10). No caso da amostra 18, composta de aproximadamente 70% de fragmentos de conchas.



Figura 10: Amostra de areia com fragmentos de conchas (indicados com as setas).

(c) As lamas arenosas correspondem a sedimento de tom marrom escuro até preto, contendo grãos de areia.

(d) As lamas com matéria orgânica correspondem a sedimentos de tom cinza escuro a preto com forte odor de putrefação, que indica a presença de ácido sulfídrico na sua composição (Figura 11).



Figura 11: Amostra de lama com matéria orgânica.

(e) As lamas com matéria orgânica, fragmentos de conchas e detritos vegetais têm características semelhantes à imagem anterior porem com o acréscimo de conchas e vegetais.

A partir dos resultados da análise macroscópica os sedimentos apresentam na porção mais ao norte do Mar do Ararapira maior quantidade de finos. E na porção ao sul, depois da desembocadura do canal do Varadouro e até a desembocadura do Mar do Ararapira, apresentam uma granulação de areia fina a grossa (Figura 12). Os sedimentos dispostos dessa maneira indicam que a porção a montante do canal do Varadouro é uma área de baixa dinâmica o que proporciona uma sedimentação mais lenta, característica de sedimentos mais finos. A área a jusante do canal do Varadouro com sedimentos de granulação maiores representa uma sedimentação mais rápida e uma dinâmica mais intensa, proporcionando presença de sedimentos mais grosseiros.

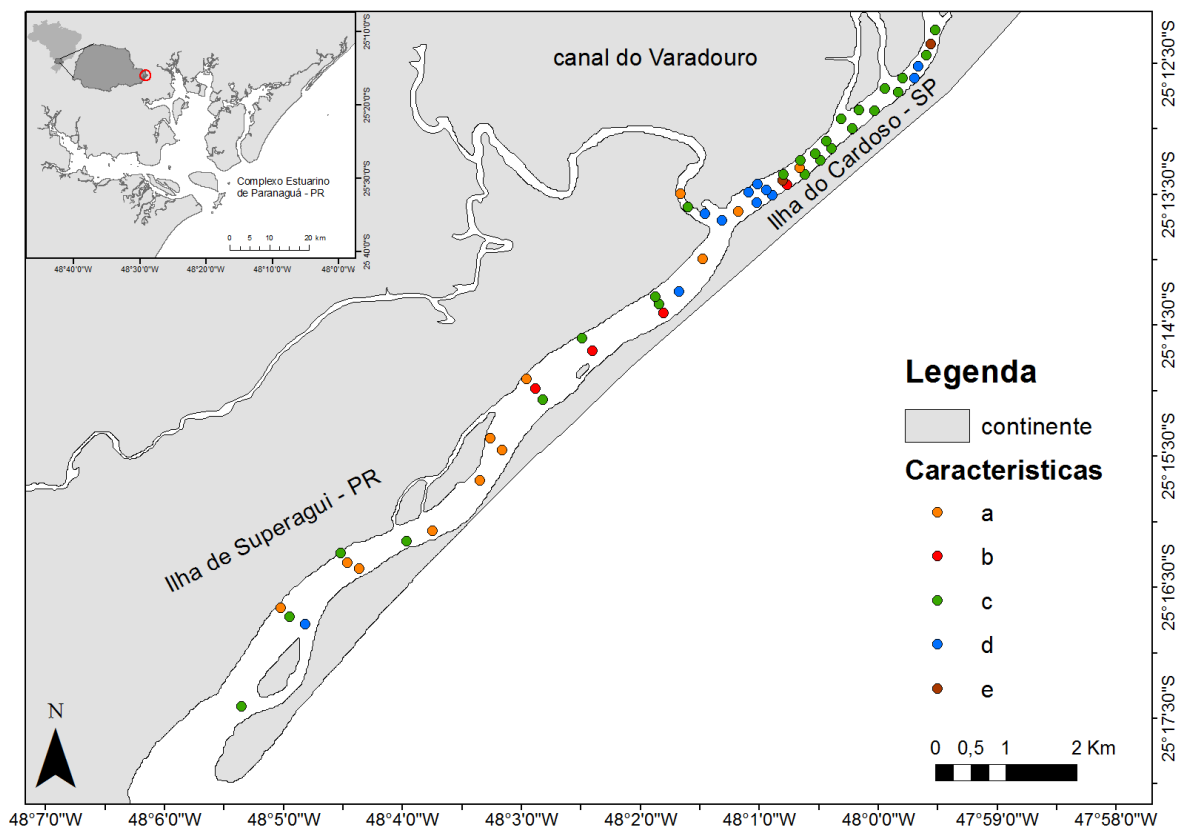


Figura 12: Classificação visual das amostras: a) areia com clastos; b) areia com fragmentos de conchas e restos vegetais; c) lamas arenosas; d) lamas com matéria orgânica; e) lamas com fragmentos de conchas e detritos vegetais.

6.2- ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A partir da análise granulométrica, foram calculados parâmetros estatísticos de Folk & Ward, e porcentagem de cada classe componente das amostras. Os resultados foram apresentados em gráficos que mostram o comportamento dessas amostras em relação a essas classes. A área amostrada foi dividida em dois setores, um ao sul e outro ao norte do canal do Varadouro. Essa divisão foi feita devido a semelhança dos resultados em cada uma dessas áreas e na diferença que apresentaram entre si.

As amostras apresentam duas modas tanto na porção mais ao sul do canal do Varadouro, quanto na porção ao norte. As modas são evidentes nas frações de areia fina e areia média, indicando ao longo de toda a extensão da área pesquisada uma predominância dessas classes granulométricas. Porém na

porção mais ao norte o predomínio é de areia fina, diferente da porção ao sul onde o predomínio é de areia média.

A montante do canal do Varadouro apenas a amostra 24 apresenta presença de sedimentos finos (silte e argila), uma parcela de 19%. A região ao jusante apresenta maior quantidade de amostras com granulação referente a sedimentos finos, identificando essa área como uma região com predomínio desses sedimentos. A presença de sedimentos finos provavelmente ocorre devido à região ser de menor hidrodinâmica.

A distribuição dos sedimentos ao longo de toda área estudada esta condicionada pelas características morfológicas do mar do Ararapira. A região próxima à sua desembocadura, na porção mais ao sul, possui maior energia sendo a entrada e saída das correntes de maré no sistema.

6.2.1. DIÂMETRO MÉDIO

Os dados obtidos nesta pesquisa, juntamente com os apresentados por Müller (2010), mostraram predominância de areia média ao longo de todo o Mar do Ararapira, com porções de areias grossas em maior quantidade na porção sul, e umas áreas de areias siltsas e argilosas na porção norte.

O mapa de distribuição dos sedimentos, segundo seu diâmetro médio (Figura 13) indica a predominância de areia média ao longo de toda porção sul do Mar do Ararapira, e predominância de areia fina ao longo de toda porção norte da área amostrada.

Os sedimentos mais grossos aparecem em menor quantidade próximos a uma das margens côncavas da ilha do Cardoso, na porção sul do canal do Varadouro. Os sedimentos siltsos e argilosos ocorrem na margem ao norte do canal do Varadouro, e em pequena quantidade também nas margens da ilha do Cardoso.

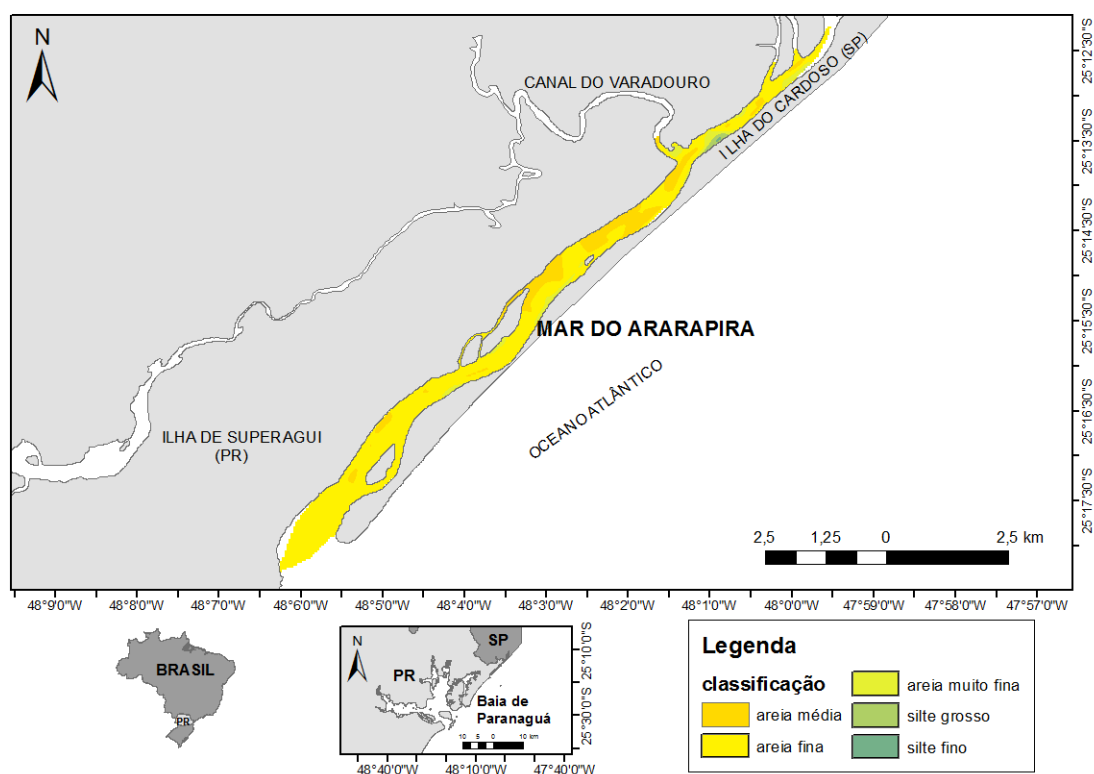


Figura 13: Distribuição do diâmetro médio dos sedimentos de fundo no Mar do Ararapira.

6.2.2. GRAU DE SELEÇÃO

Os sedimentos foram classificados segundo o parâmetro estatístico de Folk & Ward, que indica o grau de seleção de uma amostra a partir do valor do desvio padrão. Separando a área de estudos em duas regiões, a região ao sul do canal do Varadouro apresentou um grau de seleção com sedimentos moderadamente bem selecionados (média = 0,71), e a porção ao norte do canal do Varadouro sedimentos mal selecionados (média = 1,55).

A distribuição dos sedimentos em relação ao grau de seleção indica que as amostras coletadas na porção norte do mar do Ararapira, a jusante do canal do Varadouro, variou de mal selecionados a muito mal selecionados. A presença desse grau de seleção nos sedimentos indica que é uma região com menor atividade hidrodinâmica o que permite a sedimentação mais lenta e o aprisionamento desses sedimentos mais finos.

Os sedimentos próximos à desembocadura do Mar do Ararapira, na porção sul do canal do Varadouro apresentaram grau de seleção bem selecionado a

muito bem selecionado, com uma área próxima ao canal do Varadouro de moderadamente selecionados. A ocorrência de sedimentos moderadamente a muito bem selecionados sugere região de grande hidrodinâmica, com maior deposição de sedimentos de granulação maior.

Os parâmetros de desvio padrão obtidos nesse trabalho, indicaram de maneira satisfatória o grau de seleção ao longo do Mar do Ararapira. A porção a montante do canal do Varadouro tem dominância de sedimentos muito bem e bem selecionados com algumas regiões de sedimentos moderadamente e mal selecionados. A porção a jusante do canal do Varadouro manteve dominância de mal selecionados, com áreas de muito mal selecionados e moderadamente selecionados

(Figura 14).

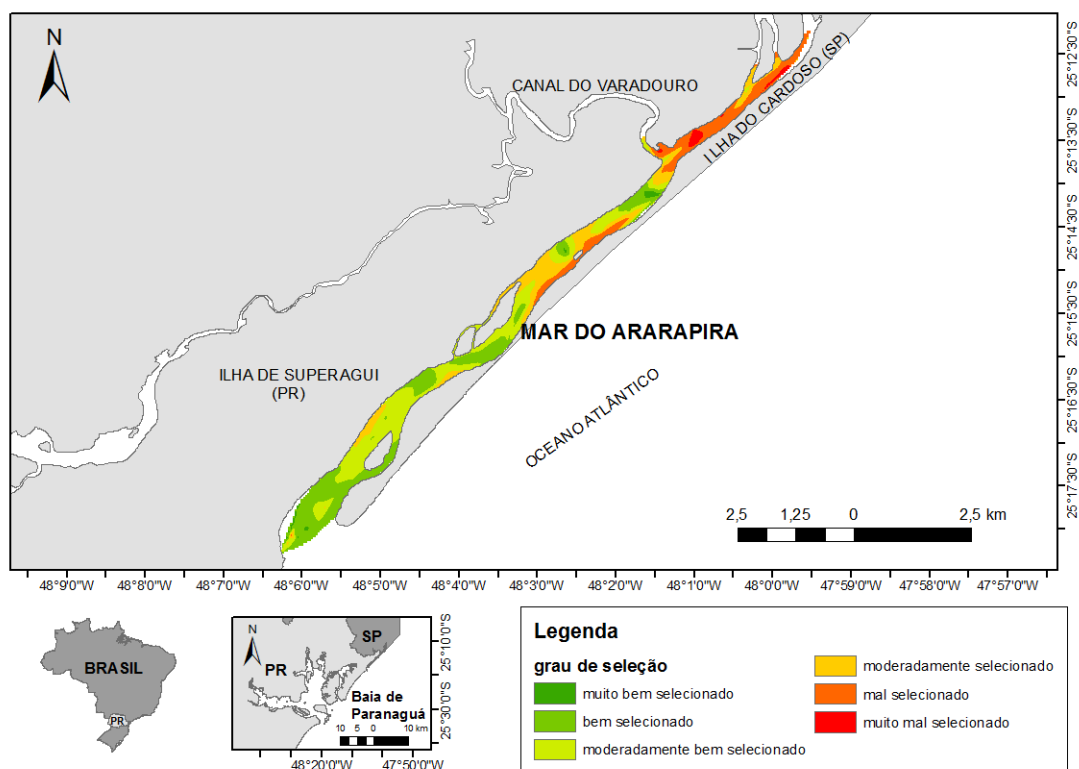


Figura 14: Distribuição do grau de seleção dos sedimentos de fundo do Mar do Ararapira.

6.3- FORMAS DE FUNDO

As superfícies de fundo são recobertas por sedimentos depositados a partir da dinâmica de cada local. As suas características são um retrato da sua fonte e de sua interação com a hidrodinâmica.

No mar do Ararapira foram encontradas formas de fundo dunas 2D e 3D além de fundo plano. O fundo plano encontrado no Mar do Ararapira foi interpretado como superfície de decantação pois ocorre associado a sedimentos de granulação fina (silte e argila).

Segundo Ashley (1990), o melhor termo para nomear as formas de fundo em sedimento arenoso é “dunas subaquosas”, pois além de ter precedência histórica as subdivisões se limitam a dunas 2D e 3D, de acordo com o formato apresentado (Figura 15). Porém, a superfície do fundo pode apresentar ainda forma de fundo do tipo fundo plano. O termo duna é diferenciado em 2D e 3D de acordo com o formato da feição em planta, 2D bidimensional ou de crista reta e 3D tridimensional ou de crista curva. As dunas também são separadas por tamanhos, medidos pela distancia das cristas, sendo: pequena (0,6 a 5 m), media (5 a 10 m), grande (10 a 100 m) e muito grande (>100m) (Ashley, 1990).

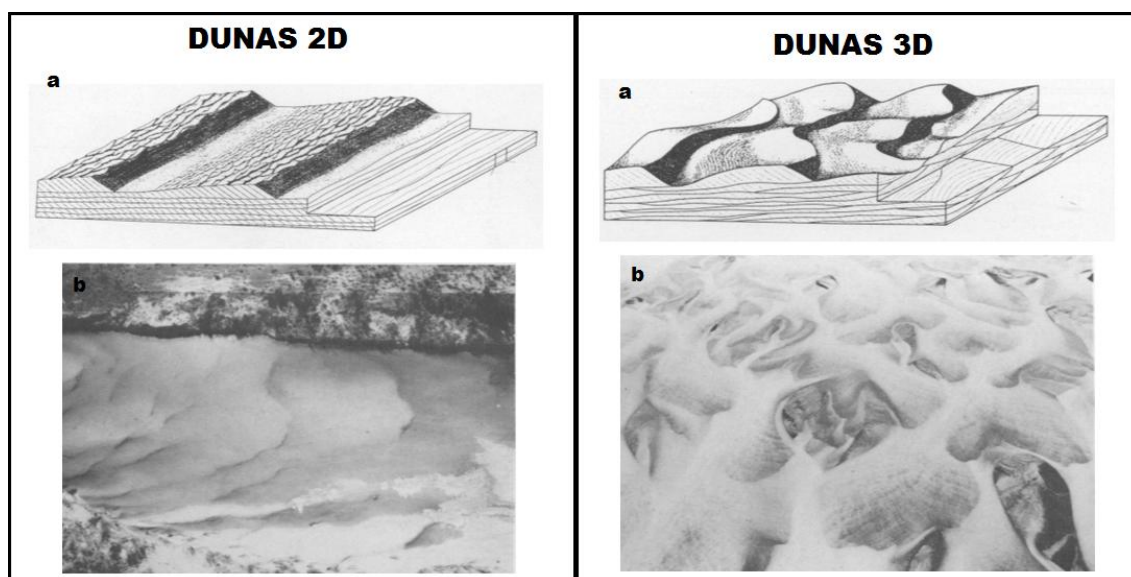


Figura 15: Dunas 2D e 3D, segundo Ashley (1990). a) modelo esquemático de dunas e b) exemplos de dunas 2D e 3D no ambiente.

Na porção ao norte do canal do Varadouro, ao norte do mar do Ararapira a forma de fundo predominante é plana. Porém, nas desembocaduras dos corpos d'água presentes nessa região ocorrem dunas 2D de tamanho pequeno e ocupando uma pequena área de aproximadamente 30 m para sul e para norte (figura 16).

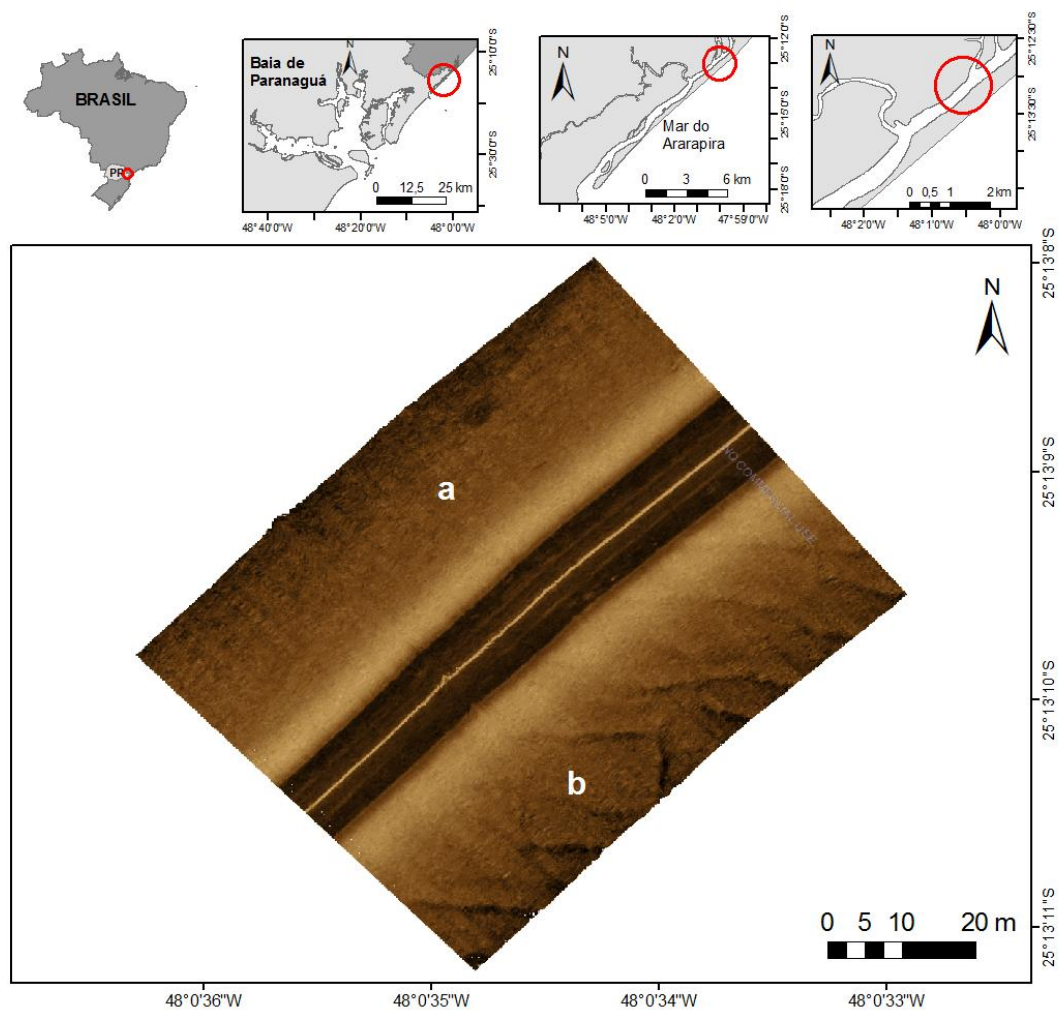


Figura 16: Imagem do sonar de varredura lateral na porção norte do Mar do Arapira, onde se observa áreas com fundo plano (a) e dunas 2D (b).

Na região da desembocadura do canal do Varadouro são encontradas dunas 2D e 3D variando de pequenas a medias. Próximo a margem oeste, correspondente ao estado do Paraná, são encontradas dunas 2D bem marcadas e com uma distancia entre as cristas (comprimento de onda) de aproximadamente 5 a 10 m. São dunas com uma altura de 2 a 3 m, que indicam direção de fluxo para norte (figura 17).

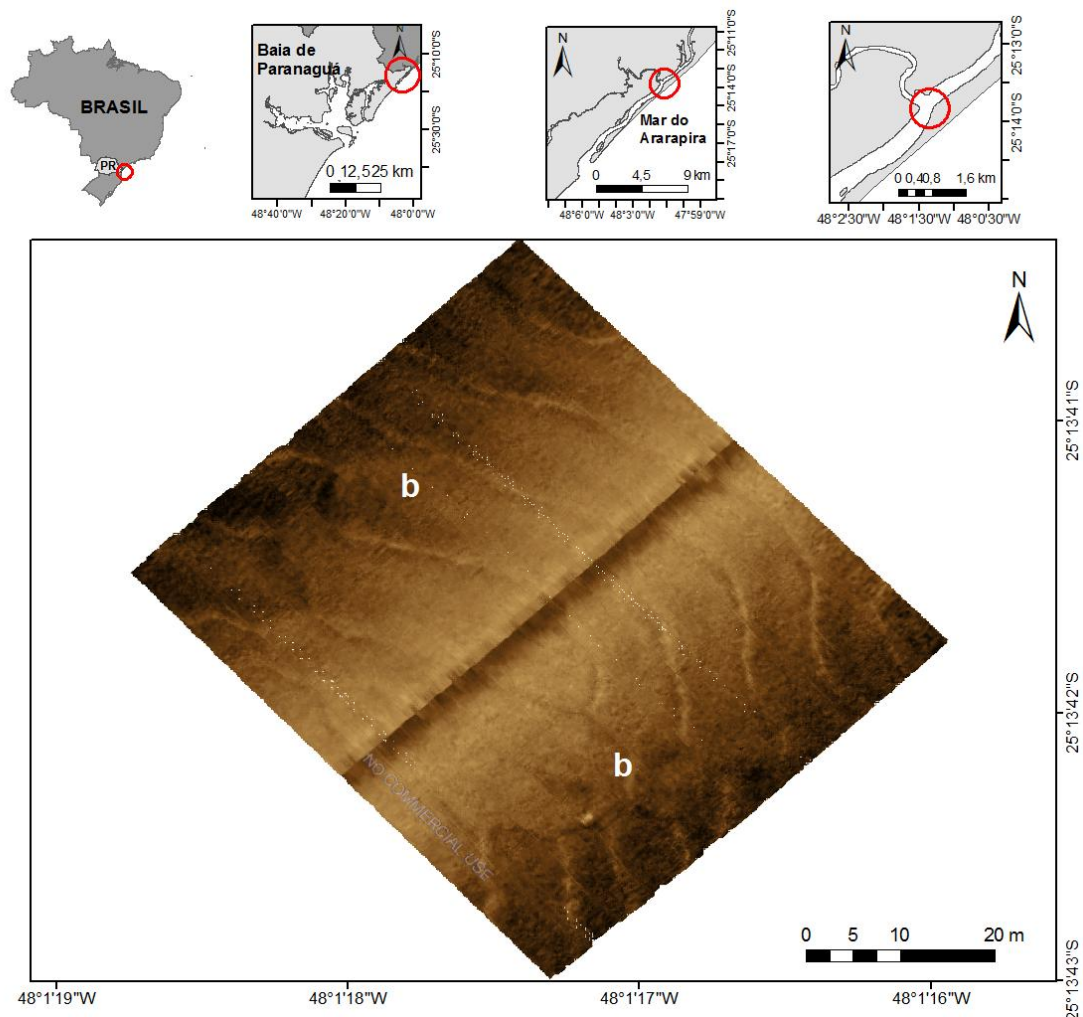


Figura 17: Imagem do sonar de varredura lateral na desembocadura do canal do Varadouro no Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b).

A ocorrência de dunas 2D se estende pelo canal do Ararapira até 2 km ao sul da desembocadura do canal do Varadouro pela margem oeste. As dunas 3D estão principalmente até 1 km na margem leste ao sul da desembocadura e 500 m ao norte na mesma margem (Figura 18). As dunas 3D são encontradas na margem leste, correspondente ao estado de São Paulo, com espaçamento das cristas, variando entre 3 e 6 m e altura variando de 2 a 4 m e também indicam fluxo para norte.

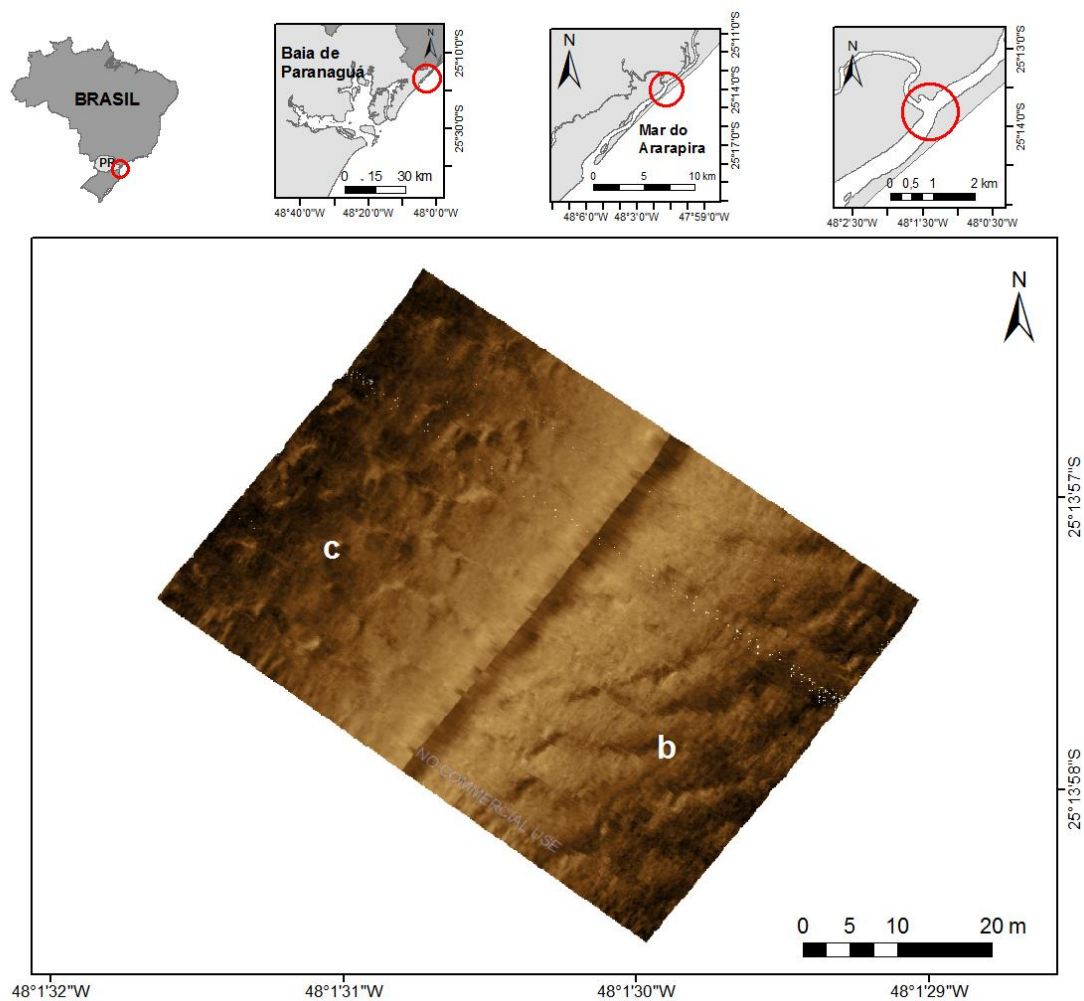


Figura 18: Imagem do sonar de varredura lateral na desembocadura do canal do Varadouro no Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b) e dunas 3D (c). As dunas 3D foram identificadas devido à sinuosidade no formato das cristas.

Na parte interna do canal do Varadouro, foram feitas imagens em uma extensão de 1 km. Nessas imagens foi observada a presença de dunas 2D pequenas em toda a área. Essas dunas se estendiam de uma margem a outra com altura chegando até 3 m. A direção do fluxo indicada pelas dunas é para oeste, ou seja, predominante para o interior do canal (Figura 19).

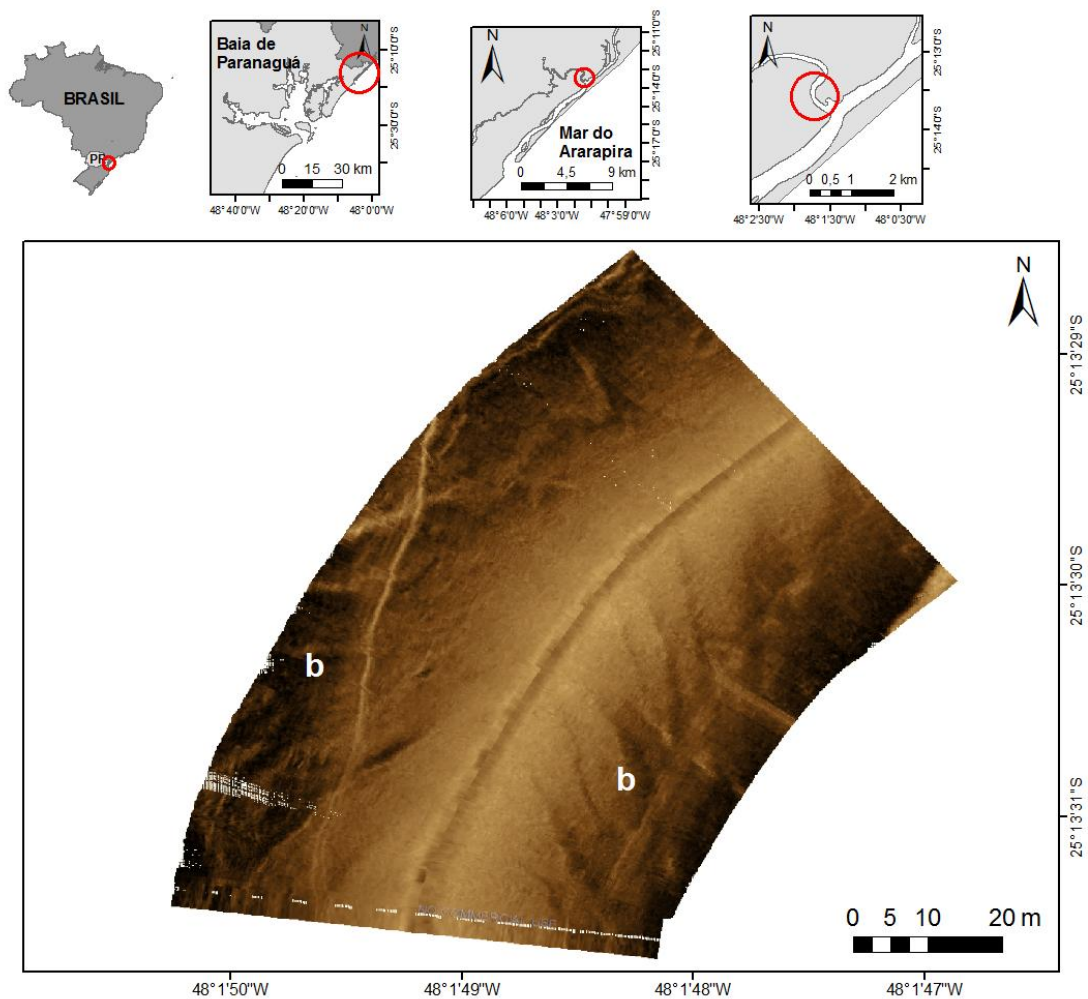


Figura 19: Imagem do sonar de varredura lateral na porção interna do canal do Varadouro, onde se observa áreas com dunas 2D (b), aparecendo de maneira mais suavizada na margem oeste (correspondente ao estado do Paraná) devido a processos erosivos dessa margem.

Na porção mais ao sul do Mar do Arapirã foram observadas dunas 2D e 3D com tamanhos variando de pequena à grande. As dunas aparecem dispostas da seguinte maneira: 2D nas margens convexas e 3D nas margens côncavas. Contudo na região mais próxima a desembocadura há uma ausência de formas de fundo indicando um fundo plano. Neste caso, o fundo plano está associado a areais que com o regime de fluxo mais intenso não permite a formação de formas de fundo. As dunas 2D, presentes nessa região aparecem com espaçamento entre elas de aproximadamente 10 m (figura 20).

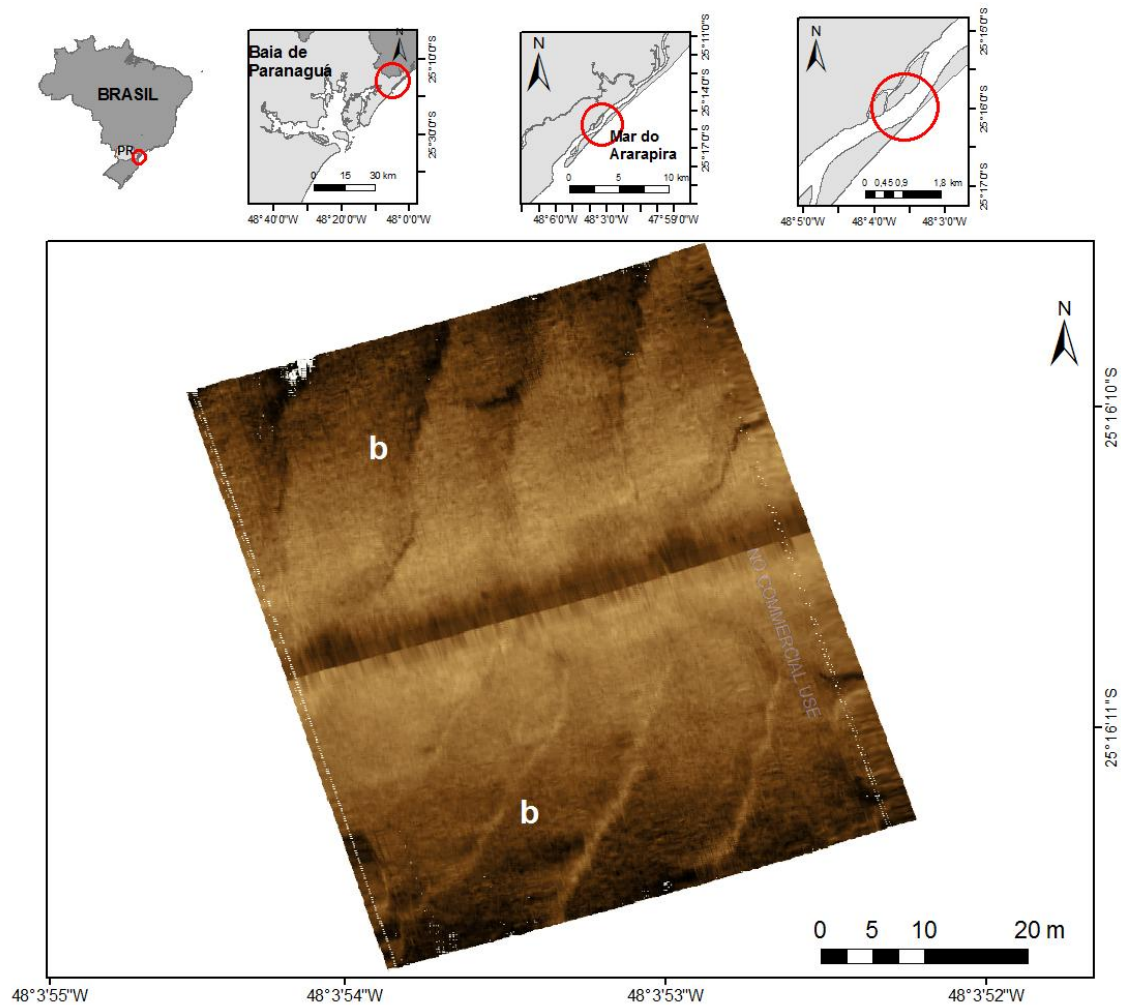


Figura 20: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b).

A região sul do mar do Ararapira apresentou uma maior quantidade de formas de fundo, dunas 2D e 3D, com tamanhos variando de pequena a grande, que estão apresentadas nas Figuras 21 a 26. Por essa região apresentar maior intensidade na hidrodinâmica, o fundo recebe influência das correntes de maneira diferenciada em cada parte o que permitiu a presença dessas diversas formas.

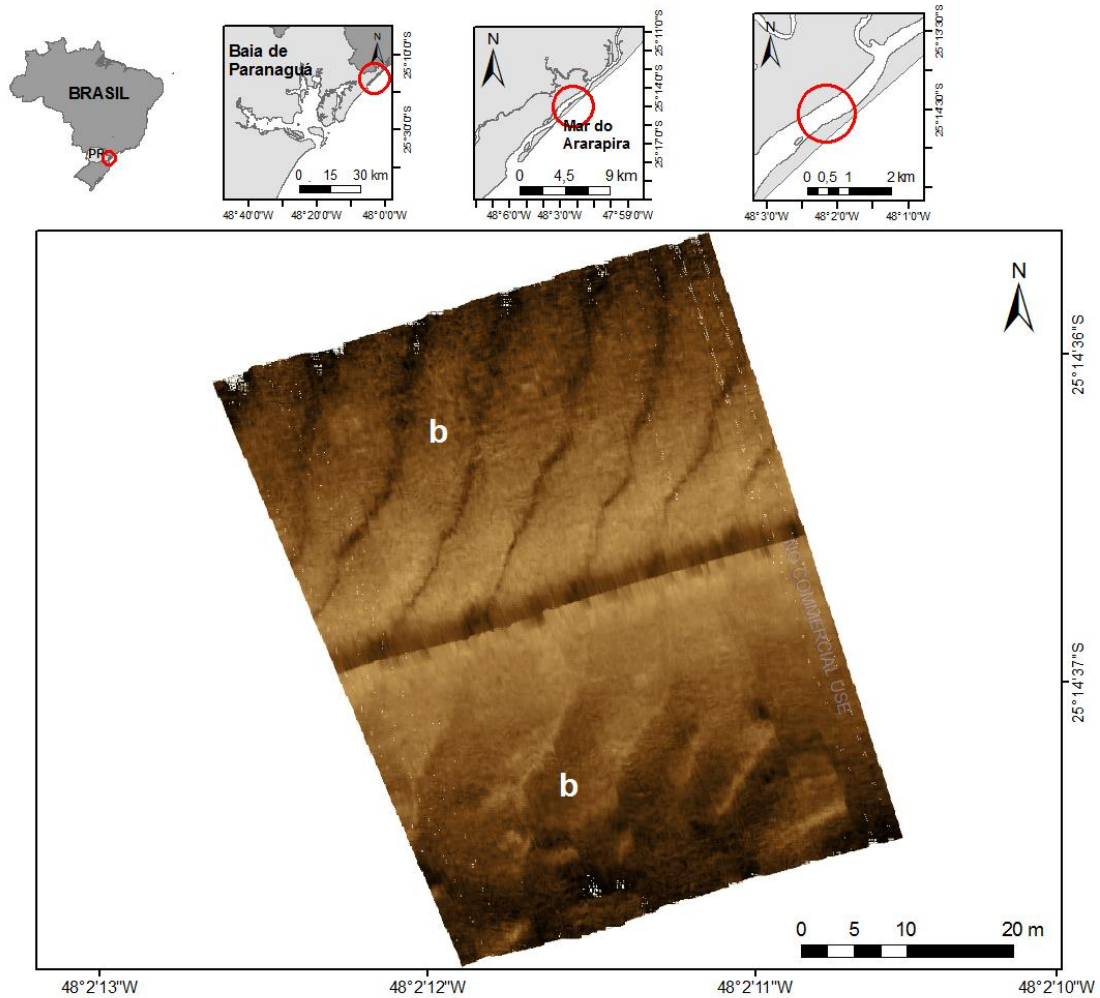


Figura 21: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Arapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b) apresenta distancia entre elas de 5 m na porção mais próxima a margem norte, e uma distancia maior (aproximadamente 10 m) na margem sul.

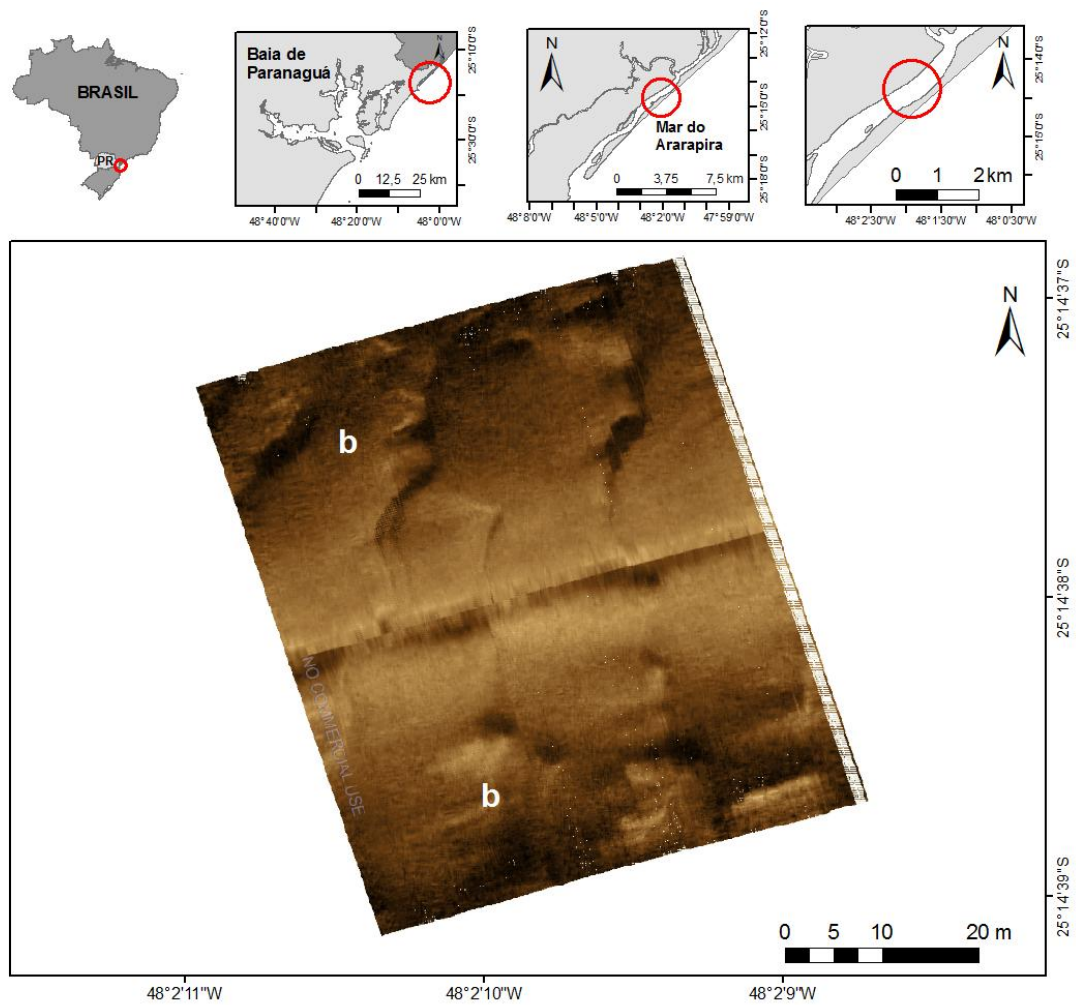


Figura 22: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b), e separadas por 15 m de distancia.

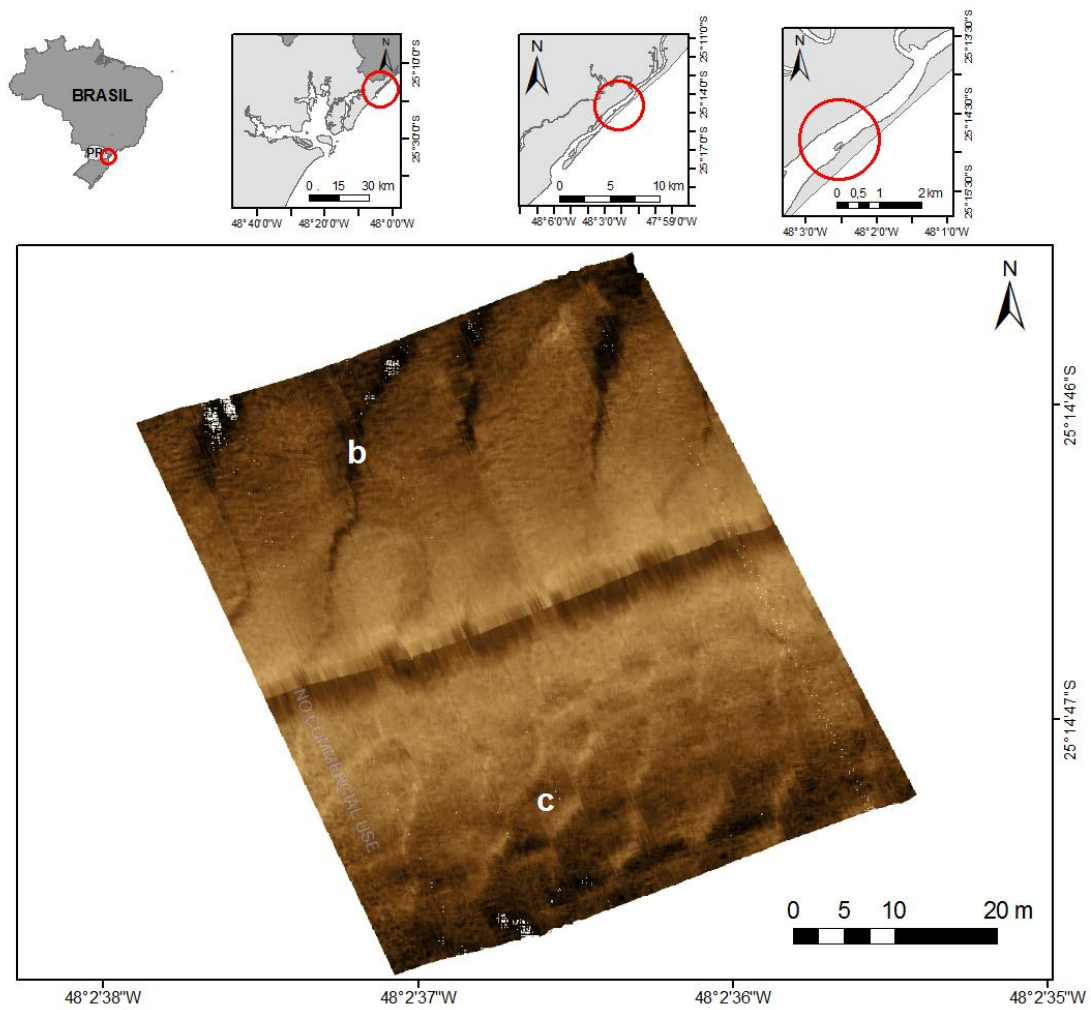


Figura 23: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b) e dunas 3D, apresentando de 5 a 15 m de distancia entre as cristas das dunas 2D e, de no máximo 5 m entre as dunas 3D.

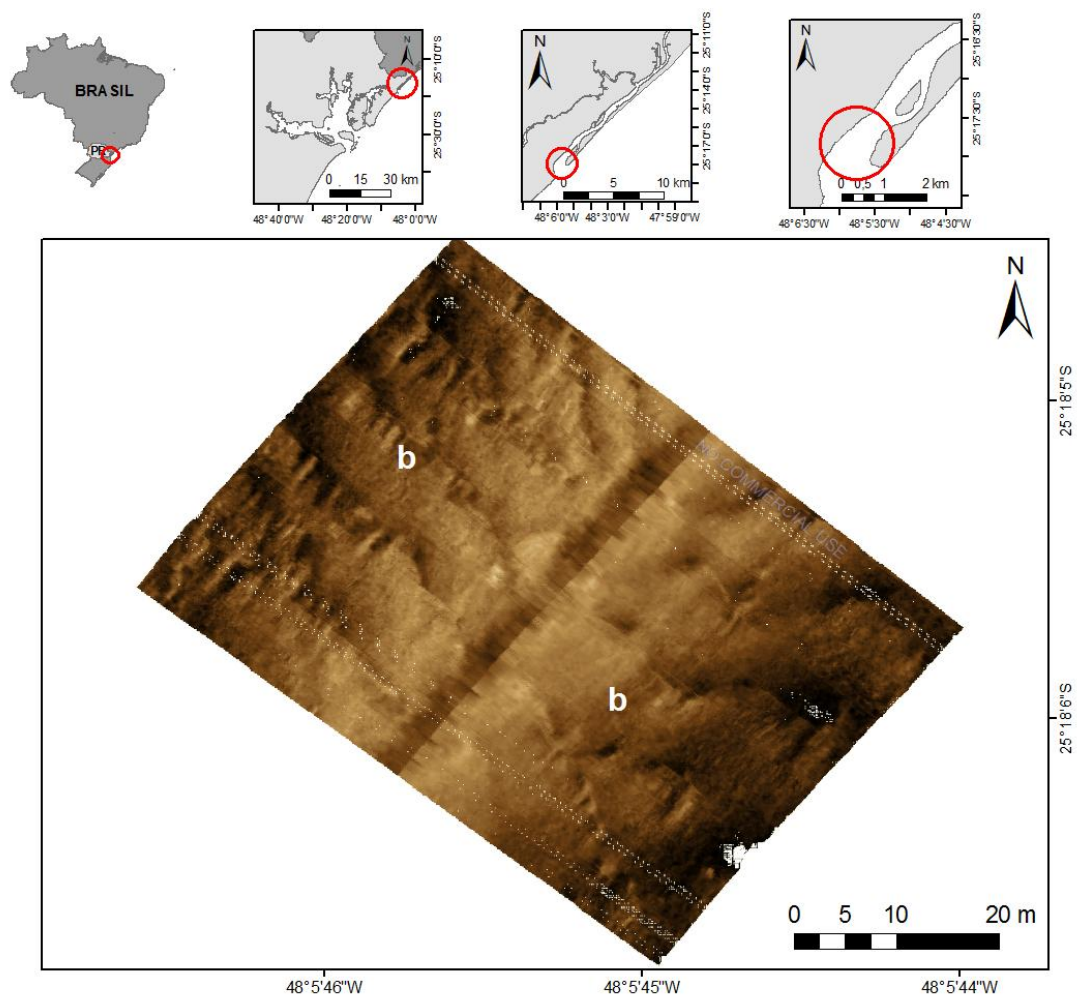


Figura 24: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde é observado áreas com dunas 2D (b). Por ser a região próxima à desembocadura apresenta uma dinâmica mais intensa refletindo em formas de fundo com cristas menos retilíneas. As cristas das formas de fundo indicam uma área de transição com fluxos de enchente e vazante com alta intensidade.

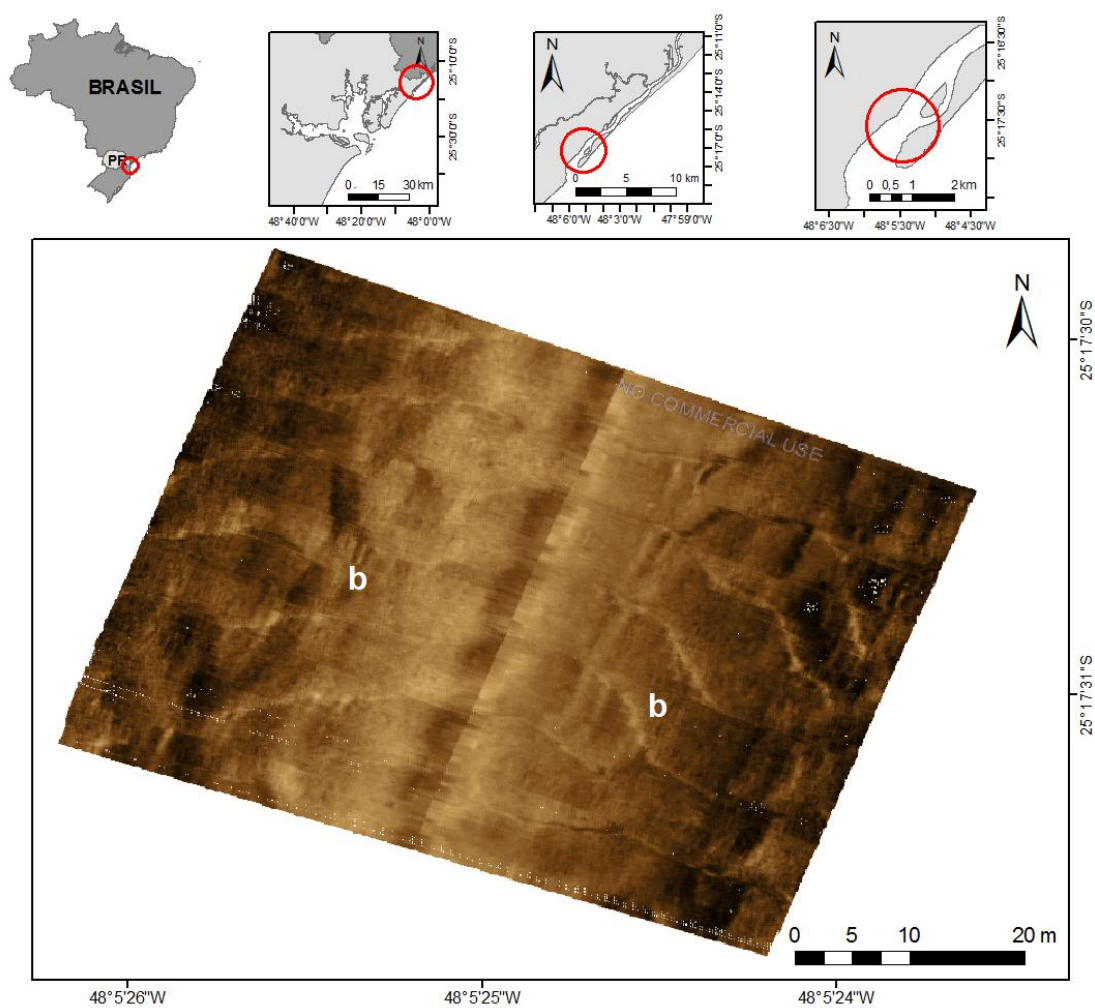


Figura 25: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Arapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b), com distancia entre as cristas de 5 m.

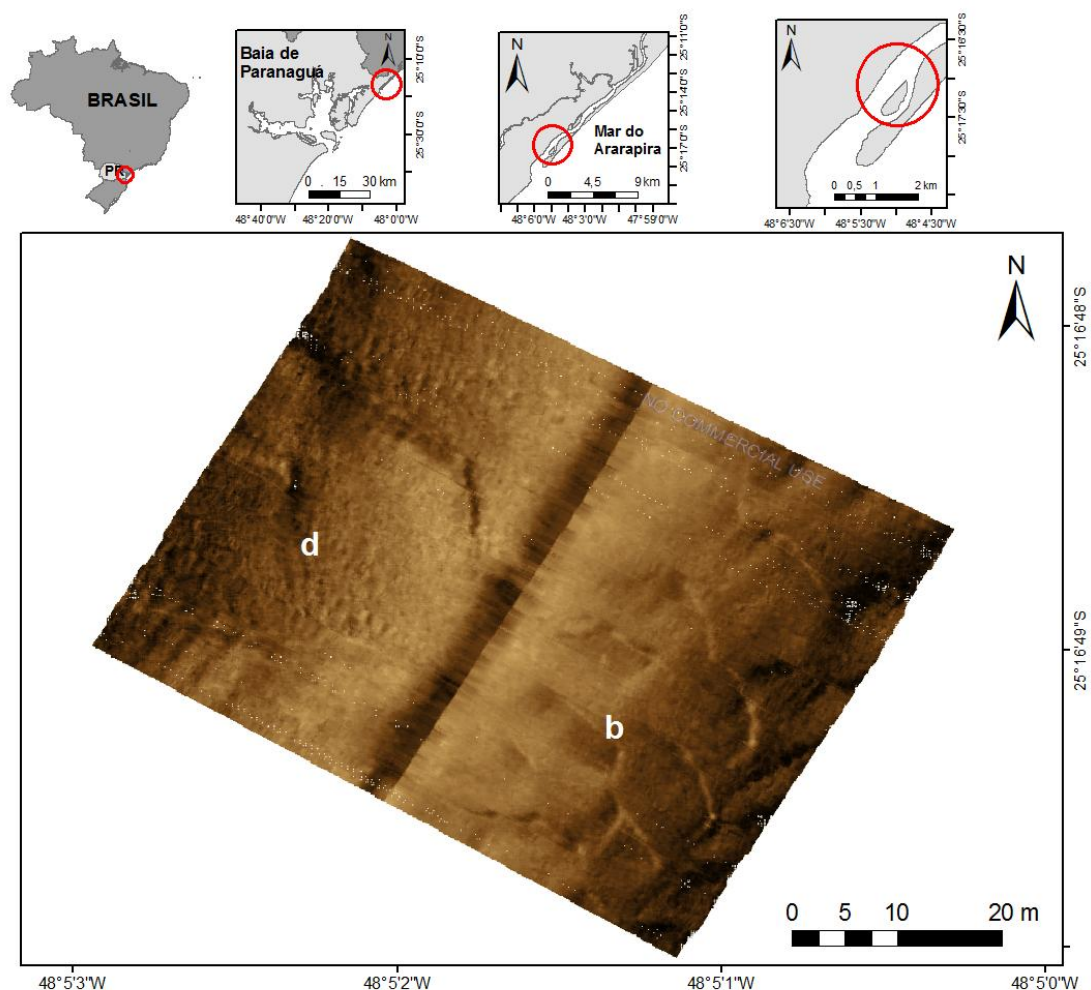


Figura 26: Imagem do sonar de varredura lateral na porção sul do Mar do Ararapira, onde se observa áreas com dunas 2D (b) (distancia entre as cristas de 5m) e dunas 2D com marcas onduladas em suas cristas (d), com distancia entre as cristas variando de 10 a 30 m.

7. SÍNTESE DOS RESULTADOS

A distribuição dos sedimentos ao longo de toda a área analisada nesse estudo mostra padrão associado à hidrodinâmica do estuário. Próximo à desembocadura do Mar do Ararapira há sedimentos de granulação mais grossa, que são mais pesados e com isso depositam com maior velocidade não sendo levados a longas distancias da fonte. Há presença de sedimentos argilosos apenas na porção ao norte da desembocadura do canal do Varadouro, sendo essa região de baixa hidrodinâmica. A diferença da presença de sedimentos com

essa granulação nessas áreas se dá pela forma como cada tipo é transportado. Sedimentos mais arenosos são transportados por rolamento, saltação e tração, necessitando diretamente de um vetor de velocidade para ser disposto sobre uma área. Contudo sedimentos argilosos são transportados por suspensão, ou seja, dependem de momentos de parada do fluxo para sua decantação e de fluxos fracos para sua manutenção no fundo e não serem resuspendidos.

A presença de sedimentos de arenosos ao longo do Mar do Ararapira e no canal do Varadouro indica que a energia dessas áreas é maior. A região acima do canal do Varadouro apresenta sedimentos de granulação de areia fina e argilosos o que indicando baixa energia.

Os sedimentos arenosos, de granulação de areia media a fina, ocorrem com maior frequência na porção sul do mar, devido a entrada desse sedimento por correntes de maré enchente desde o oceano. Com isso há uma diminuição na velocidade do fluxo que faz com que sedimentos de areia media a fina seja levada mais ao interior da área.

Quanto maior a granulação do sedimento mais clara a reflexão sendo assim areias mais grossas são mais claras que sedimentos argilosos (Guedes *et al.* 2011). Os sedimentos mais argilosos apareceram nesse estudo com maior frequência na porção mais ao norte do Mar do Ararapira, refletindo em uma imagem de coloração mais escura. Nas outras áreas as imagens tenderam a ter coloração mais variada, seguindo basicamente a granulação dos sedimentos presentes no fundo, que são variações de areias em diversos diâmetros.

Ao longo do Mar do Ararapira houve o predomínio de sedimentos com granulação de areia media a fina, com alguma ocorrência, na porção ao sul do canal do varadouro, de sedimentos de areia grossa. Nessa região, também há grande ocorrência de formas de fundo do tipo 2D e 3D, estando distribuídas ao longo do canal de maneira variada. A região mais próxima a desembocadura do canal do Varadouro apresentou dunas dos dois tipos porem com distancia de 5 m entre suas cristas, sendo com isso dunas 2D pequenas.

A porção mais ao sul do Mar do Ararapira apresentou as duas formas de dunas. As dunas 3D apresentaram distancia de 5 m entre as cristas, intitulado

dunas 3D pequenas. Porém as dunas 2D apresentaram distância entre as cristas variando de 5 a 30 m, sendo com isso dunas variando de pequenas a grandes.

O canal do Ararapira apresentou dunas 2D de médio porte com distância de aproximadamente 10 m entre as cristas. E a região mais ao norte do Mar do Ararapira, acima do canal do Varadouro, apresentou forma de leito de fundo plano ao longo de toda a extensão mapeada com exceção das regiões próximas ao deságue dos copos aquosos presentes na área. Nessa região em específico o fundo apresentou formas de fundo correspondente a dunas 2D de médio porte, variando de 5 a 7 m.

Segundo Fritz & Moore (1988) a relação estabelecida entre a velocidade e as formas de fundo é de que formas de fundo plano estão presentes tanto em áreas de grande velocidade de fluxo, como em áreas de baixas velocidades. E nesse intervalo as formas de fundo tendem a diminuir de tamanho com o aumento da velocidade do fluxo. Ashley (1990) descreve que dunas podem ser tanto 2D ou 3D em sedimentos arenosos, onde o que vai determinar essa ocorrência é o tamanho dos grãos, a velocidade do fluxo e a configuração do ambiente. Porém com a profundidade acontece o contrário as formas de fundo tendem a aumentar de tamanho com o aumento da profundidade.

Na região do Mar do Ararapira há presença de formas de fundo correspondentes às diferentes velocidades, e profundidades. Uma grande velocidade de fluxo nas desembocaduras tanto do canal do Varadouro como do Mar do Ararapira em si, apresentaram com isso formas de fundo de maior tamanho. Porém a região mais ao norte do Mar do Ararapira apresentou um fundo mais plano devido a baixa velocidade do fluxo nessa área, evidenciando que o fluxo no Mar do Ararapira tende a ser mais intenso próximo a desembocadura do mar no oceano e na desembocadura do canal do Varadouro, e dentro dele.

A porção ao norte do canal do Varadouro apresenta sedimentos de areia fina e argilosos, com algumas exceções em áreas próximas a desembocadura de corpos d'água, e forma de fundo de fundo plano, com dunas 2D pequenas nas desembocaduras. A presença de sedimentos mais finos e dessas formas de fundo indica que neste ambiente ocorrem períodos sem fluxo e períodos com fluxos de

baixa velocidade. Os corpos d'água que deságuam nessa região são todos classificados por Kumpera (2007) como do tipo gamboa meandrante, indicando uma baixa energia de transporte de sedimentos.

O canal do Varadouro apresenta sedimentos com predominância de areia fina e média, e apresenta formas de fundo do tipo 2D seguindo o fluxo pela margem norte do canal, região também que apresenta uma maior erosão observada durante o mapeamento. Essa erosão indica uma grande força de fluxo o que deixa a região mais profunda, corroborando a presença desse tipo de sedimento e de formas de fundo. Essa configuração sugere que os fluxos tendem a adentrar no canal no Varadouro e originando uma área de baixa velocidade a jusante da desembocadura.

A região da desembocadura do canal do Varadouro apresenta formas de fundo tanto 2D quanto 3D medias e grandes e sedimentos de granulação de areia grossa e média. Estas ocorrências provavelmente estão associadas as maiores profundidade do canal, podendo chegar a 10 m (Nogueira, 2010).

A desembocadura do Mar do Ararapira apresenta dominância de sedimentos de granulação areia media, e formas de fundo do tipo fundo plano. Essa forma de fundo aparece devida à área ser de grande dinâmica, combinada com alta velocidade de fluxo e baixa profundidade.

Ao longo do mar do Ararapira as formas de fundo aparecem sendo 2D e 3D. Nas áreas de maior profundidade próxima as margens convexas há um predomínio de dunas 2D, enquanto que nas margens côncavas onde há maior erosão, o tipo de duna que aparece são 3D. As formas de fundo apresentam um fluxo dominante no sentido de sul para norte, o que indica o predomínio no transporte de sedimentos pelas correntes de maré enchente.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As formas de fundo observadas ao longo de toda extensão da área mapeada com o sonar de varredura lateral refletiram de maneira satisfatória

relação com os sedimentos da superfície de fundo. A parte sul do Mar do Ararapira que apresenta dominância de sedimentos arenosos de granulação fina a grossa, apresenta dunas 2D e 3D, características desses sedimentos. As formas de fundo podem ser relacionadas à profundidade do canal e sua dinâmica. O tamanho das feições, geralmente pequenas e médias pode ser associado a baixa profundidade do estuário, em torno de 10 m, e à dinâmica ditada pelo regime de maré. Esse padrão também ocorre nas áreas da desembocadura do canal do Varadouro e na parte interna do canal.

Na parte norte do estuário, a montante da desembocadura do canal do Varadouro ocorrem fundo plano e dunas 2D apenas em regiões próximas as desembocaduras dos corpos d'água presentes na área. O fundo plano é característico de regiões com menor dinâmica e granulação sedimentar argilosa a areia fina. O estudo sedimentar dessa porção da região apresentou a granulação correspondente com o tipo de forma de fundo observada, e a presença das dunas 2D se devem à uma aumento da dinâmica devido aos corpos d'água.

9. REFERÊNCIAS

ANGULO, R. J. 1992. *Geologia da planície costeira do estado do Paraná*. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 334 p.

ANGULO, R. J. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, São Paulo, v. 71, n. 4-11, p. 935-959.

ANGULO, R. J. 2004. Mapa do Cenozóico do Litoral do Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociência*, n. 55, p. 25-42.

ANGULO R. J., SOARES C. R., MARONE E., SOUZA M. C., ODRESKI L. L. R., NOERNBERG M. A., 2006. Paraná. In: Dieter Muehe (org.) *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, Brasília, Ministério do Meio Ambiente, 1:347-400.

ANGULO R. J. & SOUZA, M. C. 1998. Morfodinâmica costeira. In: *Meio Ambiente e Desenvolvimento*, Curitiba, NIMAD, 175-183.

ANGULO, R. J; SOUZA, M. C; MULLER, M. E. 2009. Previsão e consequências da abertura de uma nova barra no Mar do Ararapira, Paraná – São Paulo, Brasil. *Rev. Quaternary Environment. Geoscience*, [S.l.], v. 01, n. 2, p. 67-75.

ASHLEY, G. M. 1990. Classification of large-scale subaqueous bedforms: a new look at an old problem. *Rev. Journal of Sedimentary Petrology*, v. 60, n. 1, p. 160-172.

AYRES NETO, A. 2000. Uso da sísmica de reflexão de alta resolução e da sonografia na exploração mineral submarina. *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 18(3), p. 242 - 256.

AYRES NETO, A.; BAPTISTA NETO, J. A. B. 2004. Métodos Diretos e Indiretos de Investigação do Fundo Oceânico. In: BAPTISTA NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. (Orgs.). *Introdução a geologia marinha*. Interciência, Rio de Janeiro, p. 127 - 151.

BIGARELLA, J. J. 1946. Contribuição ao estudo da Planície Litorânea do estado do Paraná. *Arq. Biol. Tecnol.* v.1 p. 75-111.

CAMARGO R. & MARONE E. 1996. Vento e variação do nível do mar: Observações na Baía de Paranaguá, PR. In: *Simpósio Sobre Oceanografia*, III, IO-USP. São Paulo.

DEEPEVISION. 2009. DeepEye Sonar Sistem, version 1.0.

FRITZ, W. J.; MOORE, J.N. 1988. Basics of physical stratigraphy and sedimentology. John Wiley & Sons, Inc. United States. 371p.

GIANNINI P.C.F. 1987. *Sedimentação Quaternária na planície costeira de Peruíbe-Itanhaém (SP)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geociências Universidade de São Paulo, 234p.

GIANNINI P. C. F., GUEDES C. C. F., NASCIMENTO JR. D. R. D., TANAKA A. P. B., ASSINE M. L., ANGULO R. J., SOUZA M. C., 2007. Sedimentology and morphologic evolution of the Ilha Comprida Barrier System, southern São Paulo coast. In: DILLENBURG, S. R.; HESP, P. *Geology of the Brazilian coastal barriers*. Oxford: Lecture Notes in Earth Sciences/Springer-Verlag, 2008. chap. 3.

GUEDES, L. S.; AMARO, E. V.; VITAL, H. 2011. Caracterização da morfologia de fundo da porção estuarina do canal do Rio Paraíba do Norte por meio do Sonar de Varredura Lateral e do Ecobatímetro. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE p.3538

KOMAR, P. D. 1998. *Beach processes and sedimentation*. BookMasters, Inc. New Jersey, USA. 544p.

KUMPERA B. 2007. *Contribuição ao processo sedimentar atual no Canal do Ararapira, sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP)*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, p.118.

MARTIN, L., SUGUIO, K., FLEXOR, J.M., AZEVEDO, A.E.G., 1988. Mapa Geológico do Quaternário Costeiro dos Estados do Paraná e Santa Catarina. Brasília, DNPM, 2 mapas (Série Geologia 28), 40 p.

MCLAREN, P.; BOWLES, D. 1985. The effects of sediment transport on grain size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, v.55, n. 4, p. 457-470

MIHÁLY, P; ANGULO, R. J. 2002. Dinâmica da desembocadura do corpo lagunar do Ararapira. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 217-222.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. Ed. Universidade de São Paulo, São Paulo, 413p.

MOORE, R. D.; WOLF, J.; SOUZA, A. J. FLINT, S. S. 2009. Morphological evolution of the Dee Estuary, Eastern Irish Sea, UK: A tidal asymmetry approach. *Geomorphology*, v. 103, p. 588-596.

MOSCON, D. M. C.; BASTOS, A. C. 2010. Occurrence of storm-generated berforms along the inner continental shelf – southeastern Brazil. *Brazilian journal of oceanography*, Vol. 58(special is use PGGM), p. 45 – 56.

MULLER, M. E. J. 2010. *Estabilidade morfo-sedimentar do Mar do Ararapira e consequencias da abertura de uma nova barra*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 75p.

NOGUEIRA, R. A. 2010. *Caracterização batimétrica do Mar do Ararapira, litoral sul de São Paulo e litoral norte do Paraná*. Monografia. Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, 74 p.

QUARESMA, V. S.; DIAS, G. T. M.; NETO, J. A. B. 2000. Caracterização da ocorrência de padrões de sonar de varredura lateral e sísmica de alta frequência (3,5 e 7,0kHz) na porção sul da Baía de Guanabara – RJ. *Brazilian Journal of Geophysics*, Vol. 18(2), p. 201 - 214.

SOUZA, L. A. P. 2006. Revisão critica da aplicabilidade dos métodos geofísicos na investigação de áreas submersas rasas. Tese de Doutorado. Instituto de Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 311 p.

SUGUIO, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. Edgard Blucher e Ed. USP. São Paulo, 317p.

SUGUIO, K. ; TESSLER, M. G. 1983. Intense coastal sedimentation and erosion in the Cananéia outlet, southern staté of São Paulo, Brazil. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 71- 75.

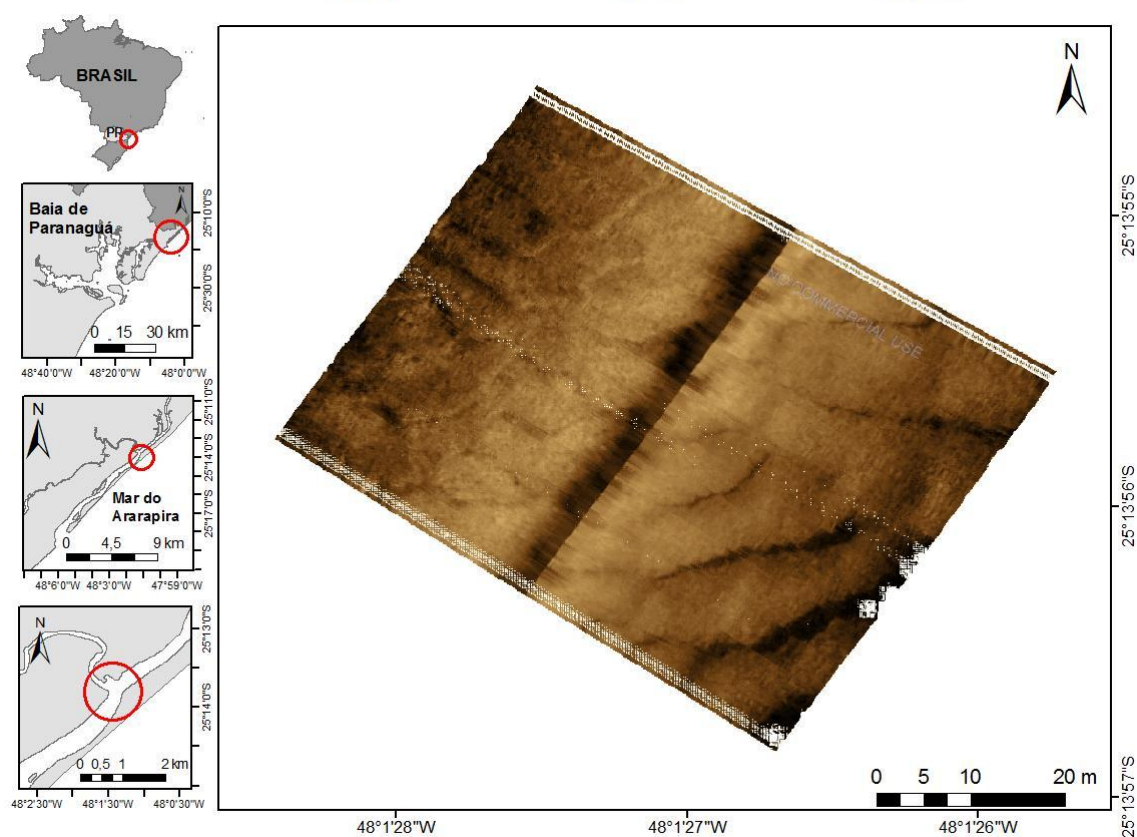
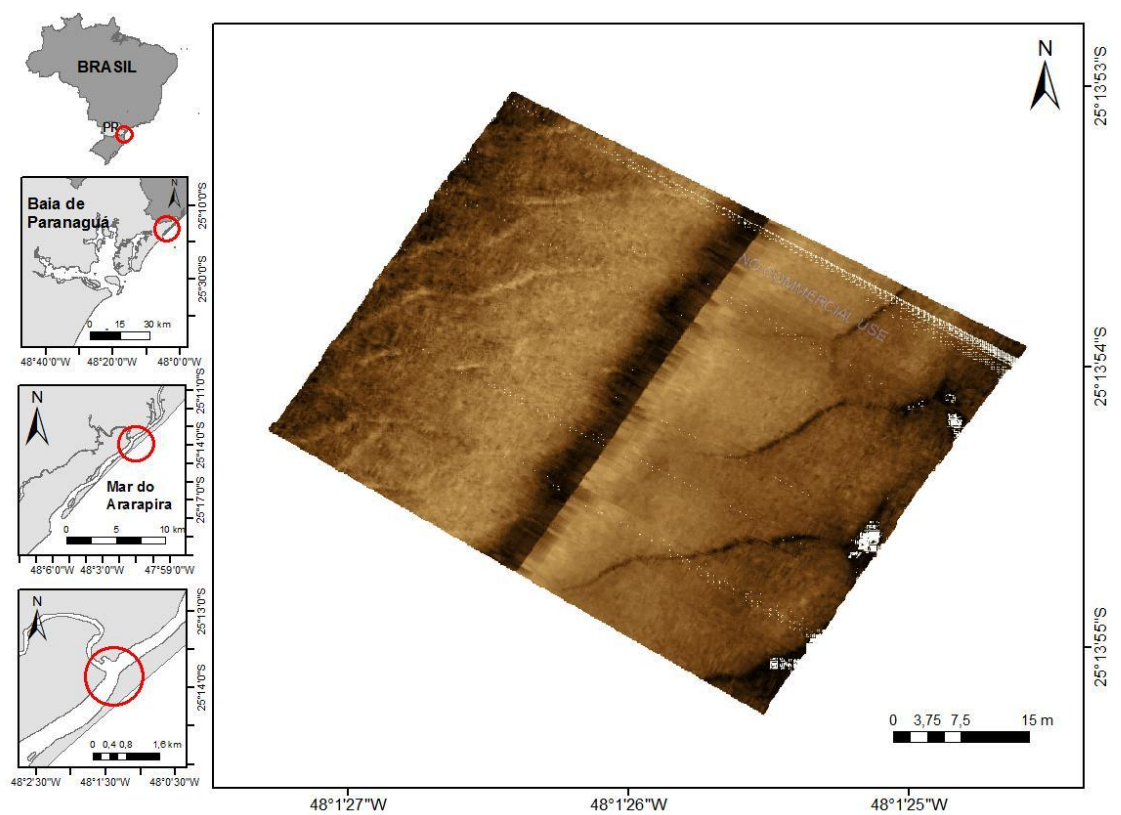
SUGUIO, K.; TESSLER, M. G. 1992. Depósitos Quaternários da Planície Costeira de Cananéia-Iguape (SP). *Publicação Especial do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, v. 9, p.1-33.

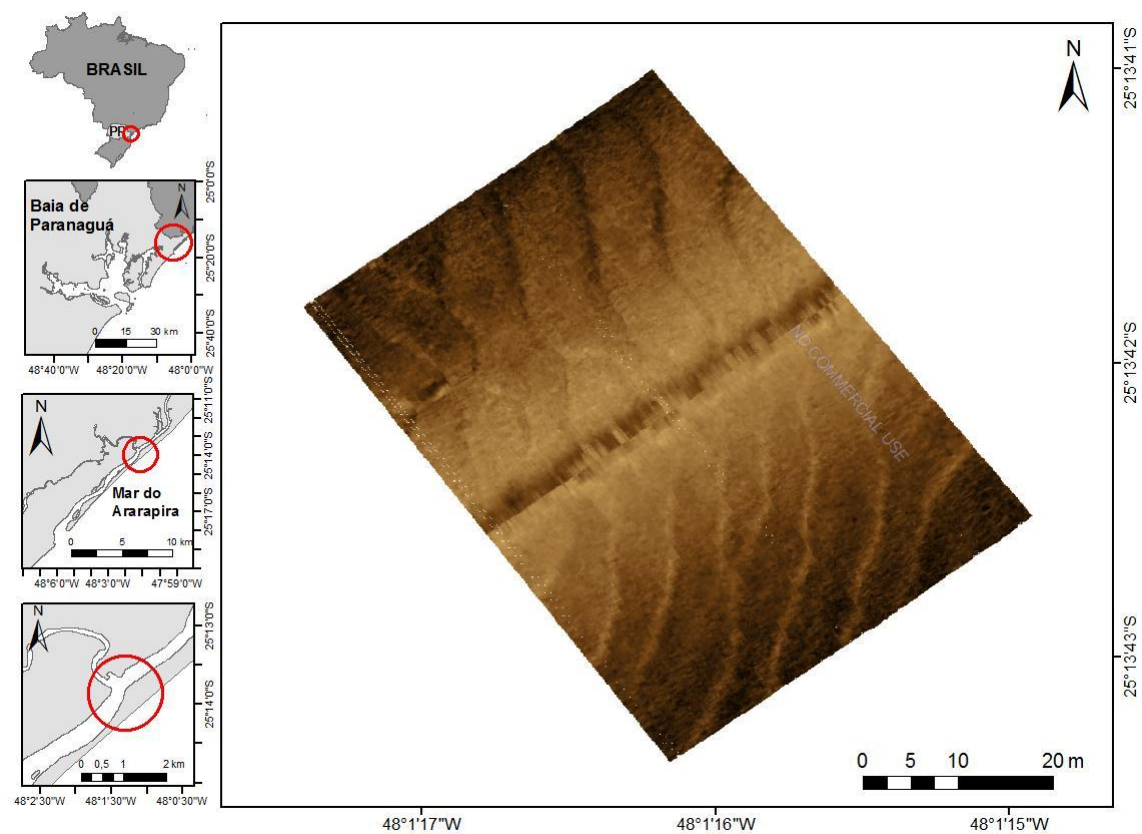
TESSLER, M. G.; SUGUIO, K.; MAHIQUES, M. M.; FURTADO, V. V. 1990. Evolução temporal e espacial da desembocadura lagunar de Cananéia. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, v. 38, n. 1, p. 23-29.

TESSLER, M. G.; MAHIQUES, M. M. 1993. Utilization of coastal geomorphic features as indicators of longshore transport: example of the southern coastal region of the staté of São Paulo, Brasil. *Journal of Coastal Research*, v. 9, n. 3, p. 823-8

ANEXO

IMAGENS DA REGIÃO DA DESEMBOLCADURA DO CANAL DO VARADOURO





IMAGENS DA REGIÃO SUL DO MAR DO ARARAPIRA

